С. Х. Азарх и Е. А. Фрид



МИКРОМИНИАТЮРИЗАЦИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ



МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 490

С. Х. АЗАРХ и Е. А. ФРИД

МИКРОМИНИАТЮРИЗАЦИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1963 ЛЕНИНГРАД

УДК 621.396.6-181.5
А35

Книга предназначена для ознакомления радиолюбителей с новыми направлениями в конструировании миниатюрной радиоэлектронной аппаратуры и задачами, которые возникают при использовании различных методов микроминиатюризации.

Азарх Соломон Хацкелевич и Фрид Евгений Абрамович.
Микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры.
М.—Л., Госэнергоиздат, 1963.
80 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 490).

Редактор *А. Ф. Сенченков* Техн. редактор *Н. И. Борунов*

Обложка художника *А. М. Кувшинникова.*

Сдано в набор 4/VI 1963 г. Подписано к печати 28/IX 1963 г.
Т-12733 Бумага $84 \times 108^1/_{32}$ 4,1 печ. л. Уч.-изд. л. 5,6
Тираж 47 000 экз. Цена 22 коп. Зак. 310

Типография № 1 Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

За последние 5—6 лет научно-исследовательские и производственные организации радиотехнической промышленности разных стран мира направили немалые силы и средства на изыскание путей значительного уменьшения габаритов и веса радиоэлектронной аппаратуры. Работы в этой области получили широкую поддержку благодаря тому, что развитие новых отраслей науки и техники, таких, как ракетная техника, космонавтика, вычислительная техника, кибернетика, бионика и др, связано с применением исключительно сложного электронного оборудования. Изыскание путей значительного уменьшения габаритов и веса привело в свою очередь к развитию новых и необычных направлений в конструировании и технологии изготовления радиоэлектронной аппаратуры, объединенных общим названием «микроминиатюризация».

Новизна и актуальность темы вовлекли в работы, связанные с микроминиатюризацией, большое количество авторов и коллективов. Возникло много разнообразных идей и предложений, касающихся физических основ, принципов конструирования и технологических способов. Развернулись научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы. Появилось большое количество сообщений, статей и обзоров.

К сожалению, никаких доступных источников, где подробно и последовательно рассматривались бы основные вопросы микроминиатюризации во всем их объеме, в настоящее время нет. Опубликованные сообщения в большинстве случаев содержат лишь самые общие сведения и повторяют друг друга с незначительными дополнениями или же носят информационно-рекламный характер. В некоторых случаях чисто внешние и малосущественные отличия в конструкции миниатюрных узлов представляются авторами в качестве новых методов микроминиатюризации. Это делается, видимо, из приоритетных соображений. Так, в одном американском журнале было описано шестнадцать методов микроминиатюризации, а меж-

ду тем внимательное рассмотрение показывает, что в большинстве случев речь идет о той или иной комбинации конструктивных отличий и применяемых технологических способов.

Недавно, во второй половине 1962 г., появился русский перевод книги, составленной по материалам совещания, происходившего в США в 1958 г.*. Книга содержит ряд статей, посвященных отдельным вопросам технологии изготовления микроминиатюрных элементов и узлов радиоэлектронной аппаратуры. Отдельные сведения, приведенные в книге, представляют интерес для широкого круга читателей и использованы авторами настоящей книги, однако многие важные вопросы микроминиатюризации в ней не рассматриваются.

Настоящая книга предназначена для того, чтобы ознакомить читателей с целями, задачами и основными методами микроминиатюризации, а также некоторыми технологическими способами, применяемыми при изготовлении микроминиатюрных элементов. В книге кратко рассматривается также взаимосвязь задачи уменьшения габаритов и веса с вопросами надежности, автоматизации производства и стоимости, потребления энергии и теплового режима. Основное внимание в ней уделено микромодульной конструкции аппаратуры, основанной на применении микромодулей этажерочного типа, как конструкции, нашедшей относительно широкое распространение.

При описании методов микроминиатюризации приходится использовать ряд новых терминов и понятий, необычных для широкого круга читателей. Остановимся на некоторых терминах и понятиях.

Понятие «элемент» используется в тексте в обычном смысле единицы электрической цепи или схемы (электрическое сопротивление, емкость, индуктивность, вентильный элемент и пр.), а также в смысле единицы конструкции (сопротивление, конденсатор, катушка индуктивности, диод и пр.). В порядке конструктивного (и схемного) усложнения аппаратуры применяются понятия: элемент, узел, блок, устройство (прибор). Узлы состоят из элементов, блоки собираются из узлов, а устройства — из блоков.

Кроме этих понятий, мы будем также применять установившееся в литературе понятие о модуле и модульной конструкции аппаратуры. Модульная конструкция аппаратуры предполагает использование конструктивно одинаковых (или подобных, отличающихся кратными размерами) узлов — модулей для сборки блоков и устройств. Модуль является узлом стандартной конструкции (по схеме — каскад или несколько каскадов), при изготовлении которого используются обычные навесные элементы (в том числе и

* Микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры. Под ред. А. А. Тудоровского, Судпромгиз, Ленинград, 1962.

малогабаритные) и стандартная несущая часть — обычно печатная плата с контактным приспособлением и крепежом.

Там, где речь идет о микромодульной аппаратуре, основанной на применении микромодулей этажерочного типа, мы будем соответственно говорить о микроэлементе (микросопротивлении, микроконденсаторе, микромодульном диоде и т. п.) и микромодуле, микроблоке, микромодульном устройстве При этом будем иметь в виду, что микромодуль, как и модуль, представляет собой конструктивно стандартизованный узел радиоэлектронной аппаратуры, отличающийся тем, что при его изготовлении применяются не обычные элементы, а элементы специальной стандартной конструкции — микроэлементы.

При описании метода микроминиатюризации, основанного на пленочной технологии, в качестве названия для миниатюрного узла в литературе широко применяется термин «микросхема». При описании аппаратуры и узлов молекулярной электроники применяются названия «молектронный узел» и «молектронное устройство».

Некоторые другие термины и понятия введены и пояснены непосредственно при описании.

По замыслу авторов данная книга должна служить источником для первоначального ознакомления широкого круга инженеров радиопромышленности, студентов радиотехнических специальностей и радиолюбителей с основными вопросами микроминиатюризации. Поэтому она не претендует на полноту изложения. Более детальное описание отдельных вопросов читатель найдет в соответствующих статьях.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ МИКРОМИНИАТЮРИЗАЦИИ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

В настоящее время трудно найти отрасль народного хозяйства, которая не была бы связана с применением радиоэлектронной аппаратуры. Радиовещание, телевидение, приборостроение, вычислительная техника, автоматическое управление производственными процессами, медицинское оборудование и многие другие направления в современной технике немыслимы без такой аппаратуры. Существенное значение приобрела радиоэлектроника в военном деле. Современные самолеты и ракеты, корабли и подводные лодки, средства противовоздушной обороны имеют разнообразное и сложное электронное оборудование, причем его сложность и удельный вес год от года возрастают. К радиоэлектронному оборудованию предъявляются все более высокие требования в отношении выполняемых задач, поэтому аппаратура становится столь сложной и громоздкой, что требования высокой надежности и значительного уменьшения габаритов и веса приобретают важнейшее значение.

Эти требования особенно возросли в связи с бурным развитием ракетной техники, появлением спутников и космических кораблей. Достаточно сказать, что для подъема каждого лишнего килограмма веса аппаратуры спутника или космического корабля необходимо увеличить стартовый вес ракеты на несколько сот килограммов, и можно предполагать, что объем оборудования будет возрастать быстрее, чем экономичность ракетных двигателей.

Значительное уменьшение габаритов и веса, а также повышение надежности радиоэлектронной аппаратуры в сочетании с массовым производством, несомненно, будут способствовать еще большему расширению области ее применения. Можно было бы, например, оснастить обычные виды транспорта рядом устройств, обеспечивающих безопасность движения, и тем самым значительно увеличить скорость, однако это оснащение пока вызывает большие трудности из-за большой сложности, громоздкости и стоимости необходимого оборудования.

В настоящее время уже широко распространены карманные радиоприемники, а в недалеком будущем появятся портативные, даже карманные, электронные счетные машины, которые по быстродействию, точности и удобству в работе будут превосходить элек-

тромеханические машины и логарифмические линейки. Недорогие портативные радиостанции индивидуального пользования станут массовым средством связи и окажут неоценимую помощь человеку в повседневной жизни и труде. Физиология и практическая медицина получат новые технические средства исследования, диагностики и лечения заболеваний, как, например, портативные диагностические машины, радиозонды и др. Появится практическая возможность массового внедрения вычислительных машин в различные отрасли народного хозяйства, и широкая автоматизация производственных процессов станет действительностью.

Развитие науки и техники уже сейчас предъявляет новые и столь серьезные требования к радиоэлектронной аппаратуре, что возникает вопрос не столько о дальнейшем усовершенствовании отдельных элементов и схем, сколько о коренном перевооружении технических средств радиоэлектроники. Как будет видно далее, многие установившиеся понятия, такие, как элемент электрической схемы и радиодеталь, разработка схемы и конструирование устройства, при этом подвергаются пересмотру и приобретают новое содержание.

В качестве общего названия различных методов значительного уменьшения габаритов и веса радиоэлектронной аппаратуры широко применяется термин «микроминиатюризация». Этот термин охватывает, однако, значительно более широкий круг задач. Можно назвать следующие основные задачи микроминиатюризации радиоэлектронной аппаратуры: 1) уменьшение габаритов и веса аппаратуры по крайней мере на один-два порядка по сравнению с существующими образцами; 2) значительное повышение надежности; 3) снижение стоимости.

Целью различных методов микроминиатюризации являются также уменьшение потребляемой мощности, упрощение конструкции, сокращение объема и трудоемкости монтажных работ и простота эксплуатации. Эти цели тесно взаимосвязаны с названными выше задачами и решаются совместно. Рассмотрим основные задачи несколько подробнее.

1. УМЕНЬШЕНИЕ ГАБАРИТОВ И ВЕСА АППАРАТУРЫ

Одним из наиболее удобных показателей, характеризующих степень миниатюризации, достигнутую в радиоэлектронном устройстве, является плотность монтажа, т. е. количество радиодеталей или элементов электрической схемы, размещенных в 1 *см*³ объема устройства.

В настоящее время лучшие конструкции некоторых видов самолетной аппаратуры, где применены малогабаритные лампы и печатный монтаж, имеют плотность монтажа, равную примерно 0,1 радиодетали на 1 *см*³. При этом в различных по назначению блоках плотность монтажа сильно различается (от 0,01 до 0,3 детали на 1 *см*³).

Применение полупроводниковых приборов, резкое снижение питающих напряжений и соответственное уменьшение размеров ряда обычных радиодеталей широкого применения (сопротивления, конденсаторы и пр.) позволили значительно увеличить плотность монтажа, что дало существенное уменьшение габаритов и веса аппаратуры по сравнению с ламповыми устройствами. При этом наиболее

плотно скомпонованные небольшие блоки аппаратуры на полупроводниковых приборах (отдельные функциональные узлы) имеют плотность монтажа до 1,5—2 деталей на 1 *см*³. Однако в устройствах в целом плотность монтажа редко превышает 0,5 детали на *см*², так как в конструкции устройства имеется значительный неиспользованный объем, приходящийся на промежутки между деталями, элементы крепления конструкции, разъемы, соединительные колодки, монтажные планки и т. п.

В связи с быстрым ростом сложности аппаратуры плотность монтажа в полупроводниковых устройствах также оказывается недостаточной, а вес слишком большим. Насколько возросла сложность аппаратуры за последние годы, можно видеть на следующем примере. Если аппаратура системы вооружения американского самолета B-29 (разработки 1942 г.) состояла из 2 000 элементов, то аппаратура самолета B-58 (разработки 1959 г.) содержит около 100 000 элементов. Десятки тысяч элементов содержит аппаратура наведения, управления и связи, размещаемая в ограниченных объемах в самолетах, ракетах, спутниках и космических кораблях.

Конечно, при дальнейшем уменьшении размеров некоторых обычных навесных элементов, в частности полупроводниковых триодов, элементов индуктивности, конденсаторов большой емкости и пр., можно несколько повысить плотность монтажа, однако значительного снижения габаритов и веса радиоэлектронной аппаратуры (на порядок и более) при существующих методах конструирования ожидать нельзя. Дальнейшая миниатюризация возможна лишь при коренном изменении принципов конструирования и сборки аппаратуры.

Новыми перспективными направлениями в конструировании радиоэлектронной аппаратуры являются методы микроминиатюризации, основанные на применении: 1) микромодулей; 2) пленочных микросхем и 3) устройств молекулярной электроники. Это разделение методов микроминиатюризации является общепринятым, однако резкой границы между ними нет. Предложены и применяются способы микроминиатюризации, в которых сочетаются конструктивные признаки, присущие разным методам, да и сами методы заимствуют технологические приемы друг у друга.

Первые успехи в применении новых методов микроминиатюризации показывают, что они позволяют резко повысить плотность монтажа. Так, микромодульный метод позволяет получить плотность монтажа 10—20, метод микросхем 100—200, а метод молекулярной электроники свыше 1 000 элементов на 1 *см*³. Правда, приведенные цифры относятся к отдельным узлам аппаратуры (в блоке и тем более в устройстве плотность монтажа будет намного меньше), однако они убедительно показывают, какие замечательные перспективы открываются при использовании новых методов конструирования аппаратуры.

Одной из основных особенностей этих методов является то, что элемент как отдельная деталь практически перестает существовать. Наименьшей неделимой конструктивной единицей становится микроузел (микромодуль) или микроблок. Если при микромодульном методе конструирования элемент еще существует как отдельная деталь до момента сборки микромодуля, то метод микросхем предполагает изготовление по крайней мере большинства элементов непосредственно в процессе изготовления микросхемы, а в устройст-

вах молекулярной электроники вообще трудно выделить отдельные элементы, аналогичные обычным радиоэлементам.

За счет чего же достигается высокая плотность монтажа в микроминиатюрных устройствах? При микромодульном методе конструирования повышение плотности монтажа достигается за счет применения специальных миниатюрных радиодеталей стандартных размеров и особой технологии плотной сборки деталей в микромодули. Благодаря одинаковой форме микромодули размещаются в аппаратуре с минимальными промежутками и небольшой потерей объема.

Если внимательно рассмотреть обычный элемент и даже его микромодульный вариант (микроэлемент), то оказывается, что рабочая (активная) часть элемента составляет незначительную часть его общего объема (иногда менее 1%). Всю остальную часть объема занимают защитный корпус и арматура крепления. Можно ли, хотя бы частично, избежать этих деталей конструкции? Оказывается, можно, и в этом заключается один из источников дальнейшего уменьшения размеров узлов и аппаратуры. Если активную часть ряда элементов сосредоточить вместе с общей арматурой крепления и в общем защитном корпусе, то такой узел будет иметь намного меньшие габариты, чем при обычном и даже микромодульном исполнении. Такой конструктивный принцип используется в методе микросхем, когда на общей изоляционной подложке наносятся в виде тонких пленок сопротивления, обкладки и диэлектрик конденсаторов, соединительные проводники и пр. Этот принцип используется и в устройствах молекулярной электроники, где для создания пассивных (сопротивления и конденсаторы) и активных (диоды, транзисторы) элементов схемы узла или блока используются слои полупроводниковых материалов.

Высокая плотность монтажа в микроминиатюрных устройствах достигается также за счет резкого уменьшения объема несущих элементов конструкции, сокращения и упрощения межблочных соединений и пр.

2. НАДЕЖНОСТЬ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Обычно под надежностью аппаратуры подразумевают вероятность того, что аппаратура будет исправно работать и удовлетворять всем предъявляемым к ней требованиям в течение определенного времени. Многие считают такое определение недостаточным и предлагают, например, понимать под надежностью произведение вероятности того, что к моменту начала работы аппаратура окажется исправной, на вероятность исправной работы в течение заданного времени. В нашу задачу не входят обсуждение определения надежности и подробный анализ всех факторов, влияющих на надежность. Рассмотрим только некоторые общие положения.

Надежность как вероятность безотказной работы аппаратуры в течение заданного времени выражается числом от 0 (аппаратура неработоспособна) до 1 (аппаратура абсолютно надежна). Однако при этом величина надежности (например, 0,9 или 0,97) недостаточно наглядно отражает работоспособность аппаратуры. Более удобны, хотя и не равноценны, такие понятия, как среднее время работы между двумя отказами $T_{\text{ср}}$ в часах или его обратная величина — средняя частота отказов λ. В течение всего срока службы блока или устройства средняя частота отказов не является величиной постоян-

ной. Она повышена в начале и конце срока службы. В начале срока службы повышенное число отказов в единицу времени связано главным образом с дефектами изготовления, а в конце — с явлениями износа, потерей эмиссии и другими медленно нарастающими изменениями в материалах.

Так как основной причиной отказов радиоэлектронных устройств является выход из строя отдельных элементов, то и средняя частота отказов устройства определяется надежностью всех входящих в него элементов. Отсюда понятно, что чем большее число элементов входит в устройство, тем больше средняя частота отказов устройства (меньше время безотказной работы) и меньше надежность. С другой стороны, чем выше надежность составляющих элементов, тем выше надежность устройства.

Если для блоков и устройств среднее время работы между двумя отказами много меньше общего срока службы аппаратуры (так как после ремонта аппаратура может быть неоднократно восстановлена до наступления явлений массового износа значительной части входящих элементов), то для элемента отказ обычно связан с окончательным выходом его из строя, и среднее время работы между двумя отказами является в большинстве случаев средним сроком службы элемента. Значения $T_{ср}$ для каждого типа радиодетали определяются при испытании больших партий в течение длительного времени. Эти значения могут с определенной достоверностью приниматься для расчетов надежности проектируемой аппаратуры.

В настоящее время расчет надежности является таким же важным элементом разработки, как и расчет чувствительности, мощности и других параметров аппаратуры.

Значения $T_{ср}$ зависят не только от типа радиодетали, но и от режима ее работы в устройстве. При повышении температуры, увеличении рабочего напряжения и рассеиваемой мощности величины $T_{ср}$ уменьшаются. Поэтому с целью увеличения надежности элементы рекомендуется использовать в режимах, далеких от предельно допустимых.

За последние годы качество радиодеталей заметно улучшилось. Если бы, например, надежность радиодеталей, примененных в аппаратуре самолета В-58, осталась на уровне 1942 г., то увеличение числа радиодеталей в его оборудовании в 50 раз (по сравнению с оборудованием самолета В-29) привело бы фактически к полной непригодности его оборудования. Действительно, если среднее время безотказной работы оборудования самолета В-29 было равно 10 *ч*, то на самолете В-58 оно должно было бы уменьшиться до 12 *мин*, что и означало бы непригодность такой аппаратуры к работе.

В литературе отмечается быстрый рост надежности как отдельных элементов, так и аппаратуры в целом. Указывается, например, что с 1954 по 1961 г., несмотря на значительное увеличение сложности аппаратуры (число элементов в устройстве возросло в среднем с 2 100 до 25 000), среднее время безотказной работы также возросло (с 3,5 до 14,5 *ч*). Если бы сложность аппаратуры осталась на уровне 1954 г., то среднее время безотказной работы возросло бы почти в 30 раз.

Названные выше методы микроминиатюризации радиоэлектронной аппаратуры наряду с уменьшением веса и габаритов предпола-

гают существенное повышение надежности. Это связано, во-первых, с тем, что новые методы рассчитаны на машинизацию и автоматизацию производства узлов и даже блоков, а автоматизация производства при наличии тщательного контроля на основных этапах изготовления должна привести к значительному повышению надежности. Вторая причина увеличения надежности микроминиатюрных устройств заключается в том, что такие методы микроминиатюризации, как микросхемы и устройства молекулярной электроники, значительно сокращают число паяных соединений, которые, как известно, являются причиной определенного числа отказов. Метод молекулярной электроники, кроме того, практически исключает отказы, связанные с различными коэффициентами линейных расширений составных частей конструкции, так как эта конструкция выполняется на базе однородного материала. Третья причина увеличения надежности микроминиатюрных устройств заключается в том, что уменьшение габаритов узлов позволяет применить сплошную герметизацию, что усиливает защиту от воздействия внешней среды, а также значительно повышает механическую прочность. Наконец, уменьшение габаритов аппаратуры позволяет широко применять общее или раздельное резервирование узлов, блоков и устройств целиком.

Из сказанного видно, что задачи уменьшения габаритов и веса и увеличения надежности тесно связаны друг с другом. Еще одна сторона этой взаимосвязи, касающаяся вопросов рассеяния мощности, будет рассмотрена ниже.

Что касается третьей основной задачи микроминиатюризации — снижения стоимости аппаратуры, то проведенные расчеты указывают на быстрое снижение стоимости микроминиатюрных узлов и блоков в течение ближайших нескольких лет до уровня стоимости полупроводниковых узлов и блоков с навесными элементами. Взаимосвязь стоимости с другими задачами очевидна. В самом деле, значительное снижение стоимости может быть достигнуто только путем автоматизации производства, а автоматизация, в свою очередь, является одним из условий повышения надежности и, по существу, — условием целесообразности данного метода микроминиатюризации.

К настоящему времени из названных задач в наиболее явном виде проявилась и решается задача уменьшения габаритов и веса. Что касается увеличения надежности, то пока имеются лишь отдельные экспериментальные данные, подтверждающие высокую надежность микроминиатюрных устройств. Более полное подтверждение высказываемых прогнозов по надежности может быть получено только после организации серийного производства узлов и образцов аппаратуры и необходимых испытаний.

Стоимость микроминиатюрных узлов, блоков и отдельных образцов аппаратуры пока намного превышает стоимость аппаратуры обычного исполнения. Поэтому микроминиатюрная аппаратура в ближайшие годы будет, по-видимому, использоваться только для особо важных целей, где вопросы стоимости не имеют первостепенного значения.

3. ОСНОВНЫЕ ТРУДНОСТИ МИКРОМИНИАТЮРИЗАЦИИ

Всем методам микроминиатюризации свойственен ряд принципиальных трудностей, связанных с уменьшением габаритов отдельных узлов и аппаратуры в целом.

В первую очередь это относится к вопросу рассеяния тепла и связанному с ним вопросу о допустимых уровнях мощности. Известно, что и в аппаратуре обычного исполнения при больших мощностях, рассеиваемых в малых объемах, приходится применять специальные меры охлаждения. К этим мерам относятся различные способы развития поверхности рассеяния тепла (например, применение радиаторов для мощных транзисторов), а также меры принудительного охлаждения — воздушного или жидкостного.

Для того чтобы температура внутри электронного блока с определенной электрической схемой не превышала окружающую температуру более чем на допустимое число градусов, блок должен иметь вполне определенную величину поверхности рассеяния тепла. Если в тот же объем поместить значительно большее число аналогичных схем (с такой же мощностью рассеяния), то температура внутри блока быстро превысит допустимую величину и он выйдет из строя. Так, например, если допустить, что температура внутри блока может превышать окружающую температуру на 20° С и теплоотвод при этом происходит только за счет конвекции и излучения (условия естественного охлаждения), то на каждые 0,04 *вт* мощности, рассеиваемой в блоке, необходимо иметь 1 *см²* поверхности рассеяния тепла. При таких условиях работы блок кубической формы с ребром 25 *см* и пятью теплоотводящими гранями с общей площадью 3 200 *см²* может рассеивать около 125 *вт* мощности.

Пусть внутри блока только 30% объема занято радиоэлектронными узлами, например микромодулями в форме куба с ребром 1 *см*, а остальной объем приходится на промежутки между микромодулями и элементы конструкции, которые несколько способствуют выравниванию температуры внутри блока (температура в микромодулях будет все же выше, чем средняя температура внутри блока). В указанной части объема блока разместится 4 700 микромодулей, и рассеиваемая мощность на каждый микромодуль составит в среднем только 27 *мвт*. А между тем в отдельно стоящем микромодуле при тех же перепадах температуры можно рассеять около 200 *мвт* мощности.

Если в том же объеме разместить большее число микромодулей, то мощность рассеивания, приходящаяся на каждый микромодуль, соответственно уменьшится. Если увеличить габариты блока и соответственно — число микромодулей, чтобы плотность монтажа осталась той же самой, то за счет относительно меньшего увеличения поверхности по сравнению с увеличением объема мощность, допустимая на каждый микромодуль, должна снизиться.

При значительном повышении плотности монтажа (особенно при использовании микросхем или устройств молекулярной электроники) вопрос теплоотвода становится еще более сложным. Плотность монтажа, которая достижима в отдельных микроминиатюрных узлах, очевидно, не может быть осуществлена в аппаратуре, если сохранятся те уровни рассеиваемой мощности, которые допускаются в современных маломощных полупроводниковых узлах.

Таким образом, одними из основных и наиболее серьезных требований, выдвигаемых задачей микроминиатюризации, являются разработка схем, имеющих значительно меньшую мощность рассеяния, чем современные схемы, а также разработка материалов и элементов, способных выдерживать более высокие температуры.

Значительное снижение мощности рассеяния служит не только интересам уменьшения габаритов, но и интересам повышения надежности и снижения потребляемой мощности

Другой трудностью микроминиатюризации является соединение микроминиатюрных узлов в блоки и блоков в устройства При высокой плотности монтажа объем, приходящийся на соединения между узлами и блоками, становится соизмеримым с объемом самих блоков, а в ряде случаев может превышать его, так как в меньших пространствах осуществить соединение практически невозможно. Уже сейчас сборка малогабаритных радиодеталей и монтаж блоков в ряде случаев являются почти ювелирной работой и требуют высокой квалификации рабочих. Выбор способов соединения в микроминиатюрных устройствах поэтому имеет очень большое значение Наиболее употребительный способ соединения пайкой оказывается ненадежным и слишком громоздким. В настоящее время широко экспериментируются метод сварки и метод термокомпрессии Последний заключается в вдавливании тонкого контактного проводника в контактную поверхность при кратковременном разогреве места соединения до высокой температуры

Определенную трудность при микроминиатюризации представляет выбор того наименьшего функционального участка схемы, который должен быть изготовлен в виде отдельного конструктивного узла, подлежащего в случае неисправности полной замене С одной стороны, увеличение числа элементов в конструктивном узле упрощает межузловые соединения и увеличивает надежность, а с другой это удорожает ремонт аппаратуры и усложняет технологический процесс изготовления самих узлов

При микромодульном методе конструирования наименьшим сменяемым узлом является микромодуль, который в функциональном отношении обычно представляет собой один каскад В пленочных микросхемах и устройствах молекулярной электроники конструктивные узлы также представляют собой отдельные каскады или сочетание нескольких каскадов, однако затем они в большинстве случаев объединяются в более сложный неделимый конструктивный блок. Вопрос разделения аппаратуры на неделимые конструктивные узлы зависит от назначения, серийности, стоимости аппаратуры, возможности ее ремонта, а также от надежности самих узлов Для массовой дешевой аппаратуры целесообразнее, видимо, применять конструктивные узлы, содержащие отдельные каскады. Для аппаратуры, доступ к которой затруднен, а также для аппаратуры разового применения, ремонт которой в процессе эксплуатации невозможен (например, аппаратура ракет, спутников и др), целесообразнее применять более крупные конструктивные узлы

Существенной трудностью всех методов микроминиатюризации является миниатюрное исполнение емкостей и особенно идуктивностей большой величины. В связи с этим разрабатываются схемные эквиваленты емкостей и индуктивностей, а также варианты схем, в которых габаритные детали отсутствуют Для счетно-решающих и логических схем последнее требование в значительной степени выполнимо, но для приемо-передающей радиоаппаратуры проблема индуктивностей остается очень острой и является серьезным препятствием для микроминиатюризации Контурные катушки индуктивности, к которым предъявляются высокие требования по стабильности и добротности, а также методы настройки контуров

пока не имеют достаточно высококачественных микроминиатюрных эквивалентов

Наконец, следует сказать, что указанные направления микроминиатюризации могут охватить далеко не все виды радиоэлектронной аппаратуры Они распространяются в первую очередь на счетно-решающие и логические устройства и в некоторой степени применимы для маломощной связной аппаратуры на одну или несколько фиксированных частот в диапазоне длинных, средних и коротких волн Пока не известны методы миниатюризации аппаратуры ультракоротковолнового, дециметрового и сантиметрового диапазонов, передающей аппаратуры повышенной мощности и пр. Однако радиоэлектроника развивается такими быстрыми темпами, что решение этих задач, видимо, не за горами.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МИКРОМИНИАТЮРИЗАЦИИ

4. УПЛОТНЕННЫЙ МОНТАЖ ОБЫЧНЫХ (НАВЕСНЫХ) РАДИОДЕТАЛЕЙ

Названные выше новые методы микроминиатюризации могут быть внедрены после проведения ряда научно-исследовательских работ, в связи с чем даже наиболее разработанный метод микроминиатюризации — микромодульный — найдет широкое применение в радиоэлектронной аппаратуре лишь через несколько лет. Поэтому конструкторы радиоэлектронной аппаратуры изыскивают различные способы конструирования с применением существующих малогабаритных радиодеталей. Некоторые из этих способов позволяют получить аппаратуру, отличающуюся повышенной плотностью монтажа, гибкостью в отношении настройки, ремонта и модернизации. Обычно эти способы предусматривают модульный метод конструирования и разработку схем, в которых отсутствуют крупногабаритные детали.

Как отмечено выше, модульный метод конструирования означает, что основой конструкции устройства является некоторая стандартная по размерам, способу сборки и монтажа элементарная конструктивная ячейка (модуль).

Наряду с этим идет непрерывное усовершенствование малогабаритных деталей, направленное на дальнейшее уменьшение их размеров, повышение надежности, а также учитывающее возможность использования при различных конструктивных и технологических способах сборки.

Среди различных конструктивных видов модулей для аппаратуры на обычных малогабаритных радиодеталях представляют интерес следующие два вида: 1) плоские модули; 2) объемные модули.

Плоские модули. Конструкции плоских модулей чаще всего выполняются на печатных платах унифицированных размеров. Площадь платы зависит не только от габаритов элементов, устанавливаемых на плате, но и от степени совершенства технологии печатных схем. Высота плоских модулей целиком определяется габарита-

ми элементов, причем зачастую один какой-нибудь элемент определяет высоту всего модуля или даже блока, если модули собираются в плоскую конструкцию.

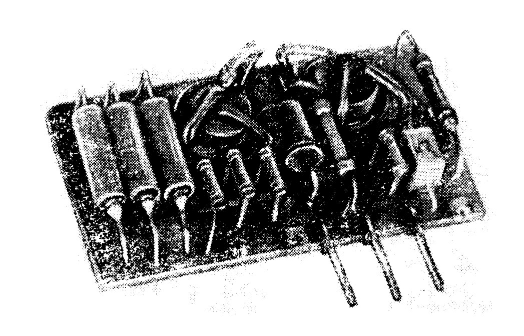


Рис 1 Плоский модуль

Часто высота определяется габаритами транзисторов, но может определяться также трансформаторами, катушками индуктивности, конденсаторами большой емкости или другими элементами. Основные особенности печатных плат, применяемых для монтажа мало-

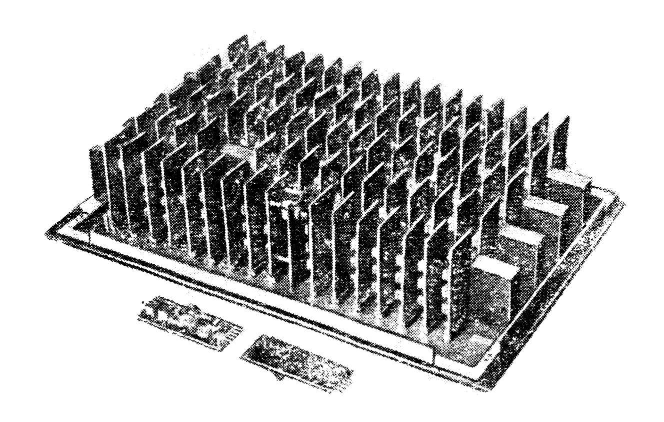


Рис. 2. Блок из вертикально установленных плоских модулей.

габаритных деталей, свойственны печатным платам для микромодульных конструкций аппаратуры, которые будут рассмотрены ниже.

На рис. 1 показан плоский модуль, а на рис. 2 — пример сборки блока из вертикально установленных плоских модулей. Плоские модули имеют проволочные или ленточные выводы, которые распаива-

ются в отверстиях вспомогательной платы с межмодульным печатным монтажом. При небольших размерах печатных плат и не очень высоких требованиях к механической прочности модули могут не иметь дополнительного крепления. Однако в большинстве случаев применяются различные способы дополнительного крепления модульных печатных плат.

При отработке макетных образцов модулей часто применяют специальные макетные платы с множеством отверстий, расположенных на определенных стандартных расстояниях друг от друга, но без печатных проводников. Конструктор модуля располагает соответствующим образом радиодетали на плате и соединяет их объем-

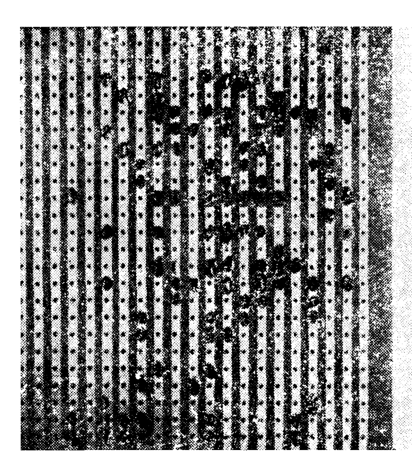
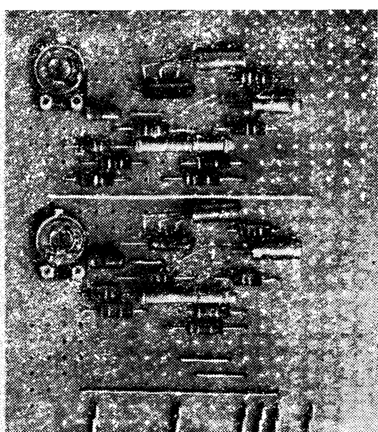



Рис. 3. Лицевая и обратная стороны платы с унифицированным печатным монтажом.

ными проводниками. После окончательной отработки схемы модуля по имеющемуся образцу легко изготовляется чертеж печатной платы.

При разработке модульных печатных плат имеется возможность унифицировать не только размеры платы, конструкцию и расположение выводов, но и рисунок печатного монтажа. Был предложен, например, следующий вариант унификации рисунка печатного монтажа (рис. 3). Подобно макетной, плата имеет отверстия, расположенные на стандартных расстояниях. По вертикали все отверстия соединены с обратной стороны платы печатными проводниками. Детали располагаются горизонтально, и их выводы припаиваются к соответствующим вертикальным печатным линиям. Чтобы устранить ненужные соединения между элементами (выводы которых лежат на одной вертикали, но не должны быть соединены по электрической схеме), вертикальные печатные линии в необходимых местах разрываются. Такая унифицированная плата требует для каждого типа модуля лишь разъединения вертикальных печатных проводников в соответствующих местах.

Представляет интерес конструкция цифрового дифференциального анализатора, разработанного на базе плоских модулей. Основу

конструкции составляют плоские модули в форме равнобедренных прямоугольных треугольников с гипотенузой, равной 44,5 *мм* (рис. 4). Толщина модуля может быть различной и зависит от размещаемых деталей. Вдоль гипотенузы треугольной платы размещены 24 штырька, которые используются для межмодульных соединений Треугольные модули вставляются в металлическую или пластмассовую кассету, которая заливается герметизирующим компаундом. Получается монолитный неремонтируемый узел в виде треугольной призмы. Четыре призмы соединяются вершинами в квадратный блок, который легко проверяется, так как все выводы модулей расположены наружу. Из таких «квадратов» составляется конструкция устройства с общим кожухом (рис. 5).

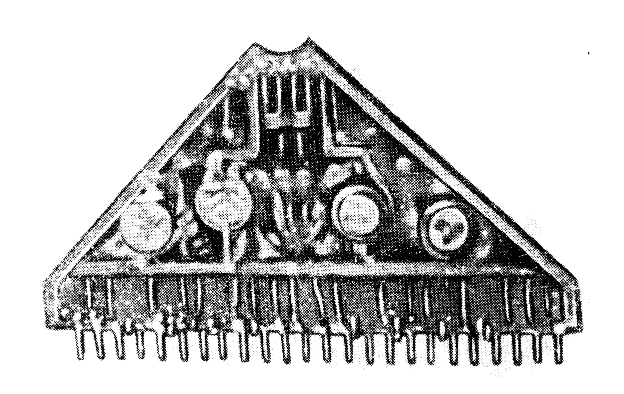


Рис 4 Треугольный плоский модуль

Дальнейшее уменьшение габаритов аппаратуры, состоящей из плоских модулей, осуществляется за счет еще большей миниатюризации элементов и усовершенствования способов их соединения. В частности, в некоторых экспериментальных разработках применяются бескорпусные полупроводниковые диоды и транзисторы, которые вкладываются в углубления или отверстия печатных плат. Изолирующий материал плат, если он тонок, может применяться в качестве диэлектрика конденсаторов. Если к тому же сопротивления и соединительные проводники выполнять методом осаждения тонких пленок, то получится пленочная микросхема Таким образом мы видим логический переход одного метода в другой.

Объемные модули. Среди ряда конструкций объемных модулей наибольший интерес представляют те, в которых радиодетали ставятся вертикально вплотную друг к другу и каким-либо способом соединяются в плоскости расположения выводов. Эти конструкции позволяют получить наибольшую плотность монтажа при создании модулей и блоков, состоящих из однотипных элементов с осевыми выводами (например, диодные матрицы, матрицы сопротивлений и пр.).

Применяется несколько вариантов конструктивного выполнения таких модулей. В одном из вариантов конструкции элементы располагаются между двумя печатными платами и присоединяются к ним при помощи пайки. Спаянный и проверенный модуль заливается компаундом, что придает ему механическую прочность и позволяет обойтись без дополнительных элементов крепления.

Разновидностью этой конструкции являются сварные модули. В сварном модуле элементы располагаются вертикально между двумя тонкими лентами из изоляционного материала. Ленты имеют отверстия, через которые пропускаются выводы элементов; они служат для предварительного крепления элементов во время монтажа. Для монтажа элементов в соответствии с электрической схемой применяется тонкий плоский проводник из никеля или других материалов. Проводник приваривается к выводам элементов над изоляционными лентами. Если один слой монтажных проводников оказывается недостаточным (проводники не должны пересекаться между собой), то на выводы элементов надевается еще одна изоляционная лента, сквозь отверстия в которой проходят только те выводы, которые необходимы для соединения во втором слое коммутации; остальные выводы обрезаются. Выводные монтажные проводники присоединяются

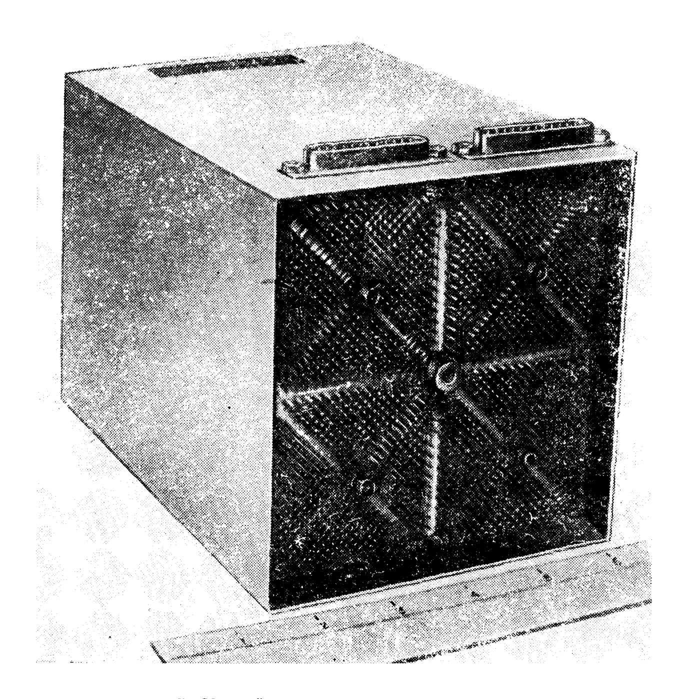


Рис. 5. Устройство на треугольных модулях.

к штырькам соединительных колодок, расположенных с одной или с обеих сторон модуля Затем модуль герметизируется компаундом

Сейчас еще нет полной ясности, что следует предпочесть при монтаже элементов — пайку или сварку Механическая прочность сварного соединения выше, чем паяного, хотя при заливке монтажа компаундами это имеет, по-видимому, не столь важное значение Сварка имеет ряд более существенных преимуществ кратковременность нагрева, что предохраняет полупроводниковые элементы от перегрева и позволяет производить соединения непосредственно около корпуса элемента, компактность соединения, отсутствие флюса, простота обнаружения дефектов

Способу сварки присущи и недостатки Так, имеются данные о том, что электрический контакт сварного соединения имеет относительно большее сопротивление, что заставляет с особой осторожностью применять сварку развязывающих цепей и цепей заземления Сварка требует большей затраты рабочего времени, более высокой квалификации рабочего и значительно труднее автоматизируется Одной из основных трудностей при изготовлении сварных модулей является нестандартность выводов элементов, отличающихся материалом, формой и размерами проводников. Серьезную задачу представляет собой повторная сварка, что значительно усложняет ремонт собранных модулей

Указанные недостатки и трудности не являются, однако, решающими, и сварные модули находят все более широкое применение, обеспечивая высокую плотность монтажа в логических и счетно-решающих устройствах В частности, вычислительное устройство для ракеты «Поларис», изготовленное на сварных модулях (всего 8 500 элементов), имеет плотность монтажа 2,5 элемента на 1 *см*³ На рис 6 приведена фотография объемного сварного модуля

По другому варианту конструкции объемных модулей элементы, плотно прижатые друг к другу (при необходимости с какими-нибудь изолирующими прокладками), заливаются компаундом Затем плоскости модуля шлифуются, пока не будут вскрыты выводы всех элементов После этого на шлифованные плоскости наносятся печатные схемы соединений

Способы нанесения рисунка печатных соединений могут быть самые разные Схему соединений можно, например, выгравировать на шлифованной поверхности, затем поверхность заметаллизировать и сошлифовать так, чтобы металл остался только в углублениях Можно, предохранив металл в углублениях, стравить его с остальной поверхности Наконец, можно использовать электрохимический способ, применяемый при изготовлении печатных схем

Из указанных способов нанесения печатного рисунка наиболее технологичен электрохимический, но он требует строгой центровки элементов, что приводит к применению изоляционных прокладок, ограничивающих их смещение Достоинство таких соединений заключается в том, что при их осуществлении не требуется повышение температуры модуля Соединение получается прочным, однако при значительных колебаниях температуры и большой разнице в температурных коэффициентах линейного расширения материала выводов и компаунда может наблюдаться отрыв печатных проводников от торцов выводов элементов

Общим отличием способа герметизации модулей с помощью компаундов является то, что модуль становится неремонтируемым вы

ход из строя одного элемента ведет к браку целого модуля. Поэтому определенный интерес представляет вариант конструкции объемного модуля, основой которого служит изоляционный или металлический (в интересах лучшего теплоотвода) корпус с цилиндрическими каналами. В каждый канал вставляется один элемент и герметизируется подходящим заливочным компаундом. Компаунд можно сравнительно легко удалить и заменить неисправный элемент.

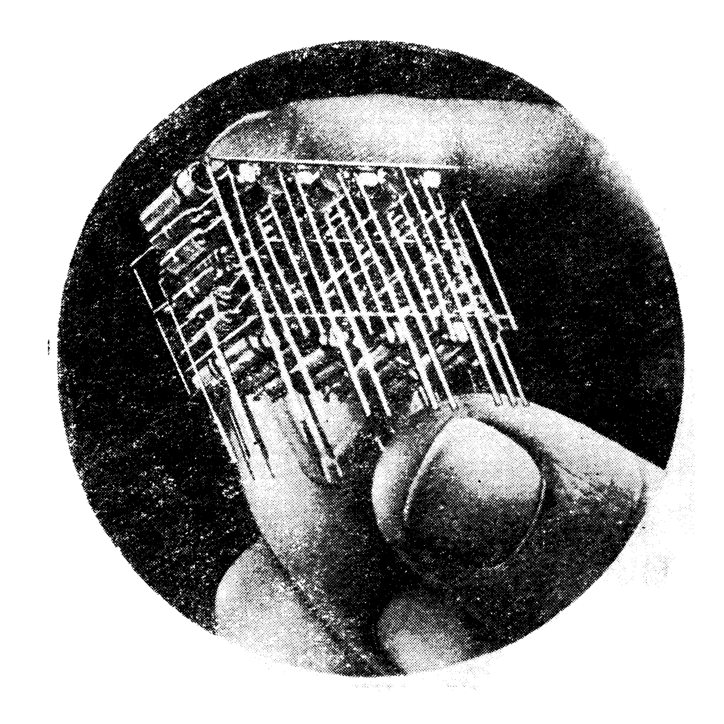


Рис. 6. Объемный сварной модуль.

Соединения между элементами осуществляются по торцовым поверхностям корпуса при помощи сварки или пайки проволочными или ленточными проводниками.

Как отмечалось выше, вертикальные объемные модули позволяют получить наибольшую плотность монтажа. В некоторых случаях габариты таких модулей не превышают габариты аналогичных микромодульных конструкций и при этом имеют более простой монтаж с другими блоками устройства.

В качестве примера конструкции вертикального модуля рассмотрим конструкцию диодной матрицы, которая предназначена для преобразования четырех разрядов двоичного кода в один разряд десятичного.

Принципиальная электрическая схема матрицы показана на рис. 7. Каждой десятичной цифре соответствует определенная комбинация напряжений на четырех парах входных шин. Выбор десятичной цифры определяется появлением нулевого потенциала на соответствующей выходной шине. В это время на всех остальных девяти выходных шинах имеется положительное напряжение. В отли-

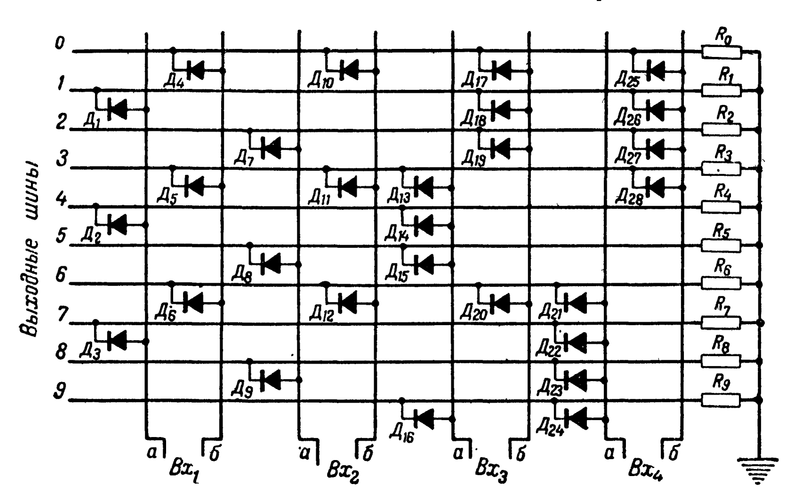


Рис. 7. Принципиальная схема диодной матрицы.

чие от обычного двоичного кода, имеющего значащие числа первых четырех разрядов 1—2—4—8, матрица преобразует двоичный код, имеющий значащие числа 1—2—3—6, что позволяет использовать меньшее число диодов. Как видно из схемы, матрица состоит из 28

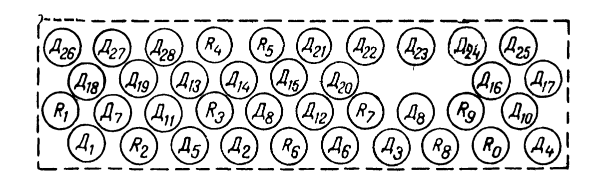


Рис. 8. Схема расположения элементов матрицы.

диодов, 10 сопротивлений и должна иметь 4 пары входных шин, 10— выходных и шину нулевого потенциала. В матрице используются диоды типа Д9Ж диаметром 3 и длиной 9 *мм* и сопротивления типа МЛТ-0,25 диаметром 2,5 и длиной 7 *мм*.

Вся схема может быть выполнена в виде объемного модуля. Диоды и сопротивления располагаются вертикально в 4 ряда в шахматном порядке между двумя печатными платами. Схема располо-

жения элементов в конструкции модуля показана на рис. 8. Расположение выбрано с таким расчетом, чтобы схема печатного монтажа на обеих платах была возможно проще, тем не менее приходится использовать печатные платы с двусторонним печатным монтажом. Модуль сконструирован так, что выводами входных шин и шины нулевого потенциала являются выводы самих элементов. Выводы

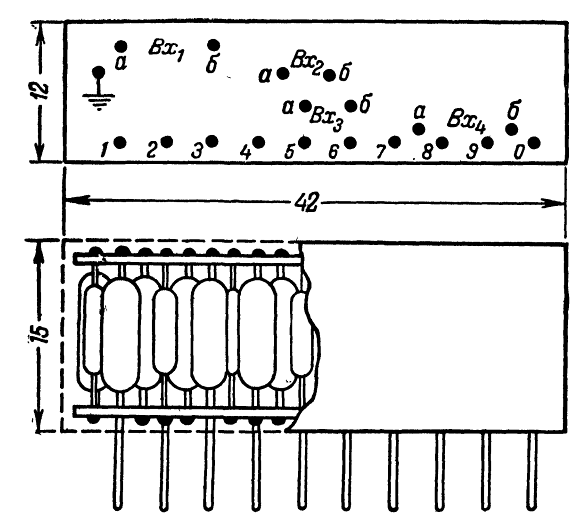


Рис. 9. Конструкция матрицы.

выходных шин расположены параллельно элементам и присоединены к печатному монтажу на верхней плате.

Конструкция модуля показана на рис. 9. Модуль залит компаундом (контур заливки показан пунктиром), образуя прямоугольный монолитный блок размерами 42×12×15 *мм*. Таким образом в объеме около 77,5 *см*^{3} размещено 38 обычных радиодеталей, и получена плотность монтажа около 5 элементов на 1 *см*^{3}. Как видно из схемы конструкции, выводы модуля расположены в определенном порядке, что облегчает его коммутацию с другими узлами устройства.

5. МИКРОМОДУЛЬНОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ

Как было указано выше, микромодулями называются миниатюрные функциональные узлы, предназначенные для конструирования малогабаритной радиоэлектронной аппаратуры. В законченном виде микромодули представляют собой герметичные узлы стандартной формы и размеров, которые не подлежат ремонту и в случае неисправности заменяются целиком.

В соответствии со своей электрической схемой микромодуль выполняет определенную функцию — усилителя, генератора, триггера и т. п. Каждый микромодуль можно охарактеризовать входными и выходными параметрами, частотными зависимостями, питающими

напряжениями и токами, поэтому устройство микромодуля (электрическая схема, конструкция) имеет для конструктора микромодульной аппаратуры второстепенное значение, так же как и конструкция сопротивления, конденсатора или полупроводникового прибора для конструктора обычной аппаратуры. Для того чтобы микромодуль можно было широко использовать в апапратуре разного типа и назначения, его электрические характеристики должны быть достаточно универсальными.

Уменьшение габарита и веса в конструкции микромодуля до стигается путем миниатюрного выполнения отдельных элементов (радиодеталей), из которых состоит микромодуль и главным образом путем плотного размещения их в объеме. В связи с этим, а также в интересах автоматизации производства микромодулей все микроэлементы, из которых собирается микромодуль, имеют стандартную конструкцию и простую геометрическую форму (квадратная пластинка, диск, шестигранная пластинка). Микроэлементы должны выпускаться в достаточной широкой номенклатуре, необходимой для изготовления микромодулей различного назначения; они обычно не предназначены для самостоятельного использования в аппаратуре, а некоторые из них по своей конструкции просто невозможно использовать вне микромодулей. Микроэлементы герметизируются в составе микромодуля, поэтому они могут иметь сравнительно невысокую степень защиты от влияния внешней среды, достаточную лишь для хранения в нормальных условиях. Однако естественно, что чем лучше защита отдельных микроэлементов, тем менее жесткие требования можно предъявлять к способу герметизации микромодуля в целом. Герметизация микромодулей значительно повышает их надежность и позволяет применять в условиях высоких механических нагрузок и повышенной влажности.

Правильная геометрическая форма и стандартные размеры микромодулей позволяют плотно компоновать из них микромодульные блоки (микроблоки). Применение микромодулей в сочетании с печатным монтажом намного упрощает сборочно-монтажные работы и позволяет их механизировать.

Таким образом, микромодуль представляет собой высоконадежный, малогабаритный, конструктивно и функционально законченный узел радиоэлектронной аппаратуры, допускающий автоматизированное производство.

Наибольшее распространение среди различных конструкций микромодулей получили так называемые этажерочные микромодули. Поэтому вопросы конструирования таких микромодулей и микромодульных блоков на их основе рассматриваются в отдельной главе (гл. 3). Здесь же в интересах последовательности изложения приводятся только основные сведения о микромодулях этажерочного типа.

Среди микромодулей других конструкций наибольшего внимания заслуживает конструкция термоионных микромодулей, обладающая рядом достоинств.

Микромодули этажерочного типа. Примером этажерочной конструкции микромодуля можно считать микромодуль RCA (США). Внешне он представляет собой прямоугольный монолитный «брусок» квадратного сечения со стороной 9 *мм*. Высота микромодуля может несколько меняться в зависимости от числа элементов, входящих в микромодуль, и в среднем равна также 9 *мм*. С двух противоположных сторон (оснований микромодуля) выходят проволочные

выводы, которые служат для механического крепления микромодуля на печатных платах и электрического соединения с другими микромодулями и узлами аппаратуры. Микромодули состоят из микроэлементов квадратной формы размерами 7,9×7,9 *мм*. Высота микроэлементов нестандартизована и колеблется от 0,25 до нескольких миллиметров. Все микроэлементы имеют 12 металлизированных пазов (по 3 паза с каждой стороны квадрата), в которые при сборке микромодуля впаиваются соединительные проводники. Спаянный микромодуль по своей конструкции напоминает этажерку, горизонтальными полками которой является микроэлементы, а вертикальными стойками соединительные проводники. Проводники придают жесткость конструкции микромодуля, которая необходима до момен-

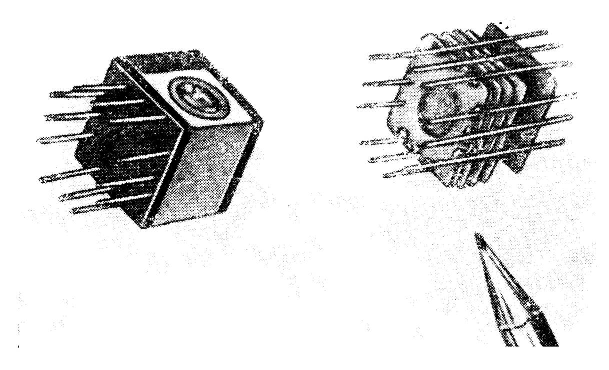


Рис. 10. Спаянный и герметизированный микромодуль RCA.

та его герметизации, и производят электрическое соединение микроэлементов по соответствующей схеме. Микромодуль герметизируется путем заливки компаундом в специальных формах, после чего превращается в монолитное тело. На рис. 10 приведена фотография спаянного и герметизированного микромодулей. Более подробно конструкция микромодуля рассматривается в гл. 3.

Идея этажерочной конструкции микромодуля не является новой. Впервые она появилась в начале 50-х годов, когда в США разрабатывались основы универсального метода конструирования радиоэлектронной аппаратуры, допускающего автоматизацию производства (метод «Тинкертой»). По этому методу отдельные каскады аппаратуры выполнялись в виде аналогичных этажерок. Отдельные элементы монтировались на керамических пластинах размером 22×22 *мм*, а соединительные проводники имели диаметр 1 *мм*, поэтому конструкция была достаточно жесткой, и модуль не заливался полностью компаундом, а лишь покрывался тонким слоем защитного лака. Метод «Тинкертой» был рассчитан на применение пальчиковых электронных ламп в качестве активных элементов схем, поэтому крайней верхней платой в этажерке была обычно ламповая панелька. Фотография такого модуля показана на рис. 11.

Метод «Тинкертой» не нашел применения в аппаратуре. Во-первых, модули заметно различались между собой по высоте, в результате чего в блоках имела место большая потеря объема, а во вторых, этот метод оказался не совместимым с быстрым развитием радиоэлектроники (внедрение полупроводников, появление малогабаритных деталей) и поэтому довольно быстро устарел. Однако работы, проведенные по методу «Тинкертой» и, в частности, по решению ряда технологических вопросов автоматической сборки модулей, могли быть использованы при разработке этажерочных микромодулей.

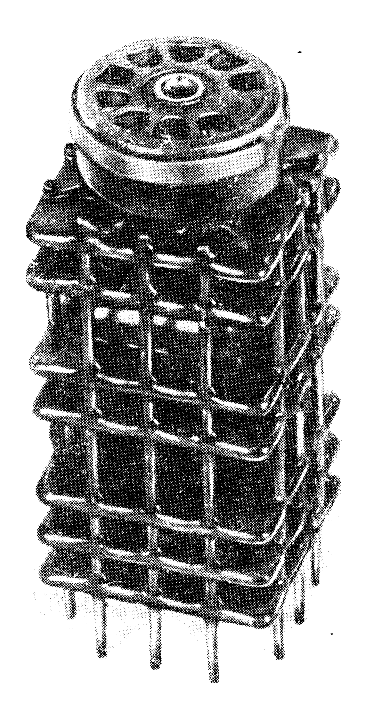


Рис. 11. Модуль «Тинкертой».

При разработке микромодулей ставилась задача уменьшения габаритов аппартуры примерно в 10 раз по сравнению с габаритами существующей аппаратуры на полупроводниках. Наряду с этим выдвигались следующие требования, которым должен был удовлетворять разрабатываемый метод: механизация производства микроэлементов, удобство монтажа микрокроэлементов в микромодулях, возможность использования микромодулей при разработке аппаратуры различного назначения, значительное снижение стоимости по сравнению с обычным монтажом, облегчение ремонта и обслуживания, высокая надежность в работе.

Среди этих требований особо следует отметить требование универсальности микромодулей, т. е возможности их использования в различных видах аппаратуры, в том числе и аппаратуры широкого применения. Только в этом случае можно говорить о целесообразности автоматизации производства микромодулей и снижении их стоимости. Требование универсальности микромодулей, в свою очередь, выдвигает ряд задач, касающихся выбора оптимальных схем, конструкции, габаритов, условий работы и пр. Однако первые варианты микромодулей были изготовлены как образцы некоторых конкретных устройств. Среди них были: усилитель высокой частоты на 49 *Мгц*, усилитель промежуточной частоты на 4 *Мгц*, кварцованный гетеродин на частоту 45 *Мгц*, смеситель, детектор, усилитель низкой частоты и ряд микромодулей для импульсных устройств.

В настоящее время микромодульный метод конструирования предполагает, что на каждой квадратной пластинке размещен только один элемент. Это обеспечивает универсальность микроэлементов, а также позволяет разработчикам обычных малогабаритных радиодеталей сравнительно легко освоить микромодульные вариан-

ты конструкции микроэлементов. Однако в действительности на одной пластинке можно разместить не один, а несколько элементов, причем необязательно, однотипных. Это увеличивает плотность монтажа, так как за счет уменьшения числа пластинок высота микромодуля уменьшается. Такие многоэлементные платы уже не являются универсальными, и к тому же их изготовление значительно сложнее. Однако они вполне рациональны для использования, например, в микромодулях широкого применения, изготовляемых в больших количествах.

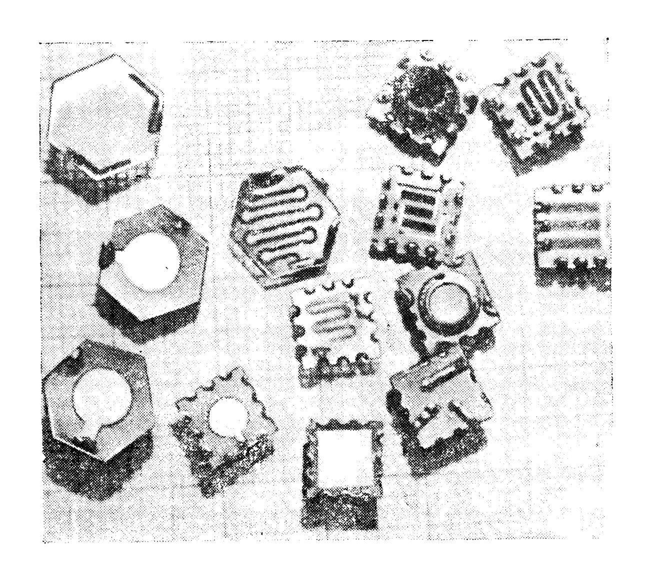


Рис. 12. Квадратные и шестигранные микроэлементы.

Квадратная форма микроэлементов и микромодулей не является единственно возможной и, вероятно, не оптимальна. Некоторые зарубежные фирмы разработали микромодули аналогичного типа, но на основе микроэлементов шестигранной формы, которые соединяются также вертикальными проводниками. Размер герметизированного микромодуля по диагонали равен 14 *мм*. Микроэлементы квадратной и шестигранной форм показаны на рис. 12.

Термоионные микромодули. Одной из американских фирм разработаны так называемые термоионные интегральные микромодули (ТИММ), значительно отличающиеся от других по принципу работы и конструкции.

В термоионных микромодулях применяются титано-керамические безнакальные лампы, которые могут работать при высоких температурах. Лампы собираются из отдельных конструктивных элементов круглой формы. Диод, например, состоит из катода в форме керамического диска с оксидным покрытием, изоляционного кольца и анода в виде титанового диска. Триод имеет, кроме того, сетку в ви-

де перфорированного титанового диска и еще одно изоляционное кольцо (рис. 13).

Вместе с лампами в микромодуль входят необходимые сопротивления и конденсаторы. Сопротивление изготовляется путем нанесения на внутреннюю поверхность изоляционного кольца проводящей пленки. В такой конструкции были получены сопротивления величиной от 1 *ом* до 0,5 *Мом*. В качестве диэлектрика конденсаторов применяется синтетическая слюда. С одним слоем слюды можно получить емкость порядка 20 *пф*.

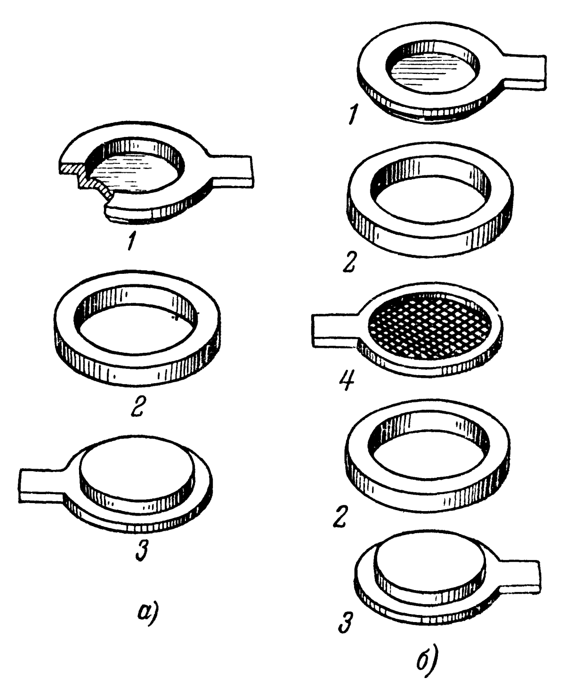


Рис. 13. Детали диода (*а*) и триода (*б*) микромодуля ТИММ.

1 — анод; *2* — изоляционное кольцо; *3* — катод; *4* — сетка.

Детали микромодуля ТИММ собираются в пакет, вакуумируются и герметизируются методами металлокерамической технологии при температуре 1 000° С. Диаметр микромодуля зависит от рабочего тока ламп. При токе 2 *ма* диаметр катода лампы должен быть равен примерно 5 *мм*, а диаметр микромодуля 8 *мм*. Высота микромодуля зависит главным образом от емкостей, необходимых для данного диапазона частот, а также от количества элементов.

Для нормальной работы титано-керамических безнакальных ламп необходимо, чтобы температура внутри микромодуля была 500—600° С. Внешний разогрев требуется только для запуска схемы в ра-

боту. В дальнейшем, тепло, необходимое для разогрева катодов, выделяется за счет рассеяния мощности в активных и пассивных элементах микромодуля.

При сборке термоионного микромодуля многие детали могут быть общими для соседних элементов. Большинство соединений при

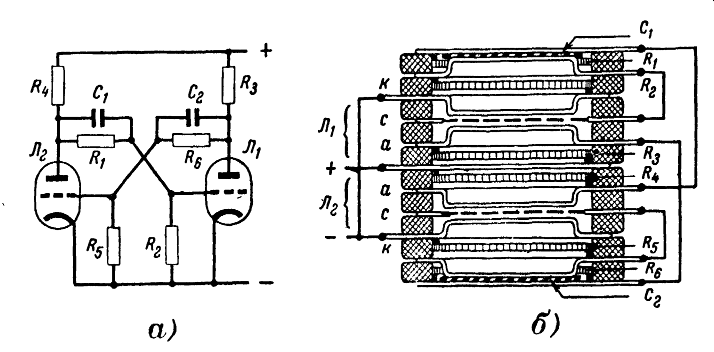


Рис. 14. Схема (*а*) и конструкция (*б*) термоионного микромодуля триггера. *к* — катод; *с* — сетка; *а* — анод ламп $Л_1$ и $Л_2$.

этом оказывается внутри микромодуля, и чтобы схема была полностью смонтирована, требуется небольшое количество внешних перемычек. Плотность монтажа в микромодулях ТИММ характеризуется следующим примером. В одном из устройств длиной 65 и диаметром 8 *мм* было смонтировано 14 триодов, 10 диодов, 14 сопротивле-

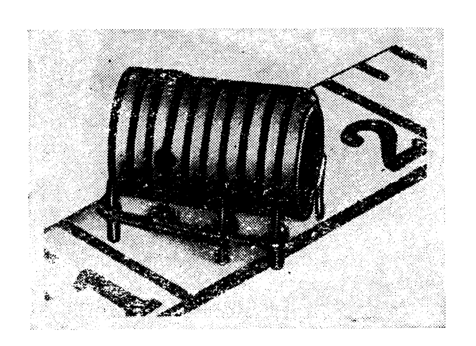


Рис. 15. Общий вид микромодуля ТИММ.

ний и 6 конденсаторов, что составляет плотность монтажа около 14 элементов на 1 *см*³. Возможна, по-видимому, и бóльшая плотность.

На рис. 14 показаны электрическая схема и конструкция термоионного микромодуля, собранного по схеме триггера. Этот микромодуль имеет диаметр 8 и высоту 9 *мм*. На рис. 15 показан общий вид микромодуля ТИММ.

Благодаря высокой рабочей температуре термоионные микромодули способны рассеивать относительно большую мощность в малом объеме, что является одной из важных отличительных их особенностей. Другой особенностью этих микромодулей является их высокая устойчивость к воздействию ионизирующих излучений. В зарубежной литературе указывается, например, что термоионные микромодули проработали в атомном реакторе 1 600 *ч* без разрушения.

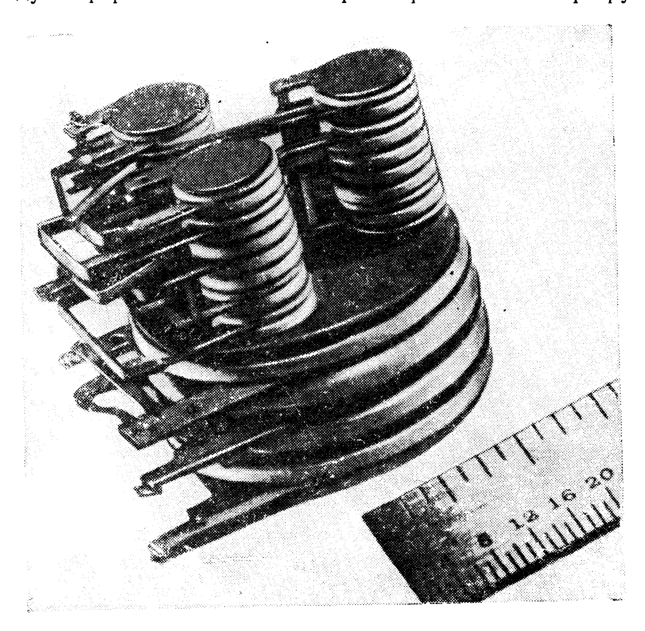


Рис. 16. Сервоусилитель на микромодулях ТИММ.

В настоящее время разработан ряд микромодулей различного назначения. На рис. 16 приведена фотография четырехкаскадного сервоусилителя с усилением по напряжению около 40 *дб* и выходной мощностью 0,5 *вт*. Устройство весит 30 *г* и занимает объем 16,3 *см*^{3}. Разработано также вычислительное устройство для баллистического снаряда. Оно в 2 раза легче и более чем в 5 раз меньше аналогичного устройства на полупроводниковых приборах.

6. ПЛЕНОЧНЫЕ МИКРОСХЕМЫ

Как мы уже упоминали, этот метод микроминиатюризации дает возможность сосредоточить рабочие части элементов на одной подложке и получить таким образом более высокую плотность монтажа в узле. Элементы микросхемы в большинстве своем конструктивно неотделимы и несменяемы. Однако отдельные элементы могут быть обнаружены и проконтролированы, поэтому пленочная микросхема

является по сути дела особым конструктивным вариантом выполнения обычных схем электроники

В настоящее время сопротивления и конденсаторы нетрудно получить в виде тонких пленок, изготовленных различными способами осаждения полупроводящих, проводящих и диэлектрических слоев на изоляционные подложки. Из осажденных слоев и формируется пленочная микросхема.

Прежде всего надо сказать об одной важной функциональной возможности пленочных микросхем. При изготовлении пленочных сопротивлений и конденсаторов можно получить *RC* цепи с распределенными параметрами, которые по своим электрическим характеристикам значительно отличаются от цепей с сосредоточенными постоянными.

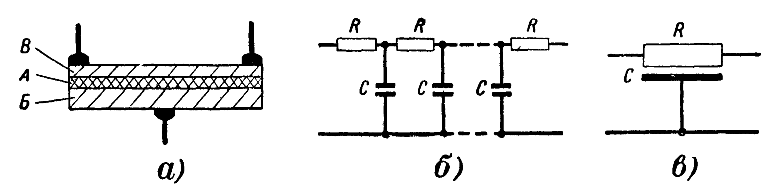


Рис. 17. Конструкция (*а*), эквивалентная схема (*б*) и условное обозначение (*в*) пленочной *RC* цепи с распределенными параметрами.

Если на диэлектрическую подложку *А* (рис. 17,*а*) нанести с одной стороны проводящий слой *Б*, а с другой — полупроводящий слой *В*, то получится конструкция, которая в электрическом отношении представляет собой элемент сопротивления с распределенной по его площади емкостью. На рис. 17,*б* и *в* показаны эквивалентная схема и условное оо̆бзначение такого четырехполюсника.

Полученную электрическую схему можно математически проанализировать как линию передачи с постоянным (или переменным) волновым сопротивлением и вычислить ее амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики. Такое вычисление показывает, например, что использование четырехполюсника в качестве фильтра нижних частот обеспечивает более крутой спад амплитудно-частотной характеристики, чем применение многозвенных *RC* фильтров. Чтобы получить аналогичные электрические характеристики с помощью фильтра с сосредоточенными постоянными, нужно применить большое количество элементов.

В пленочной конструкции возможны различные комбинации, отличающиеся порядком следования слоев, толщиной, площадью и формой, величиной удельного сопротивления и диэлектрической проницаемостью, а также расположением выводов, т. е. пленочная конструкция открывает новые и широкие возможности для создания *RC* четырехполюсников с разнообразными характеристиками. Для некоторых простых четырехполюсников вычислены и построены эти характеристики На рис. 18 показаны схемы двухполюсников и четырехполюсников, которые можно получить в трехслойной конструкции из полупроводящих, проводящих и диэлектрических пленок.

Приведем два примера использования трехслойной пленочной микросхемы при изготовлении *RC* генератора и мультивибратора.

Эквивалентная схема генератора показана на рис. 19,*а*. Она представляет собой обычную схему *RC* генератора с фазосдвигающим многозвенным *RC* фильтром в цепи обратной связи. Конструк-

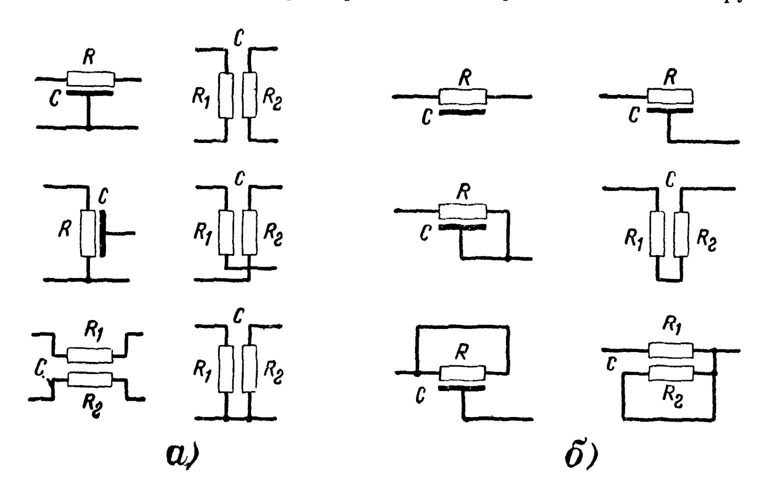


Рис. 18. Некоторые схемы четырехполюсников (*а*) и двухполюсников (*б*) с распределенными параметрами, выполняемые в виде трехслойных пленок (*С* — емкость, распределенная между полупроводящими или полупроводящей и проводящей пленками).

тивно генератор выполняется следующим образом (рис. 19,*б*). На одну сторону диэлектрической подложки *А* наносится в виде незамкнутого кольца полупроводящий слой *Б*, от которого путем осаж-

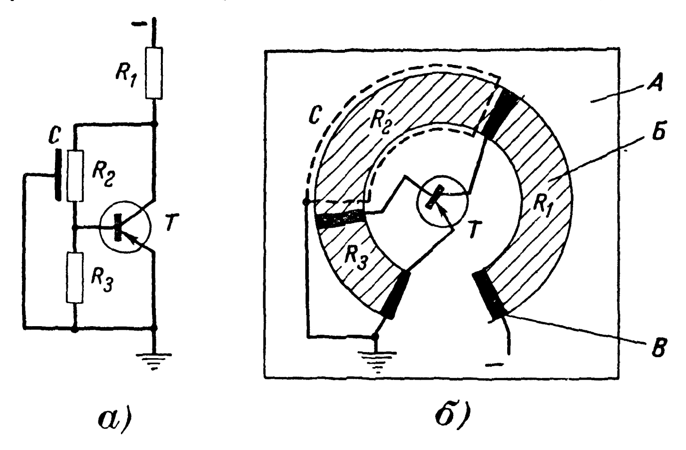


Рис. 19. Эквивалентная схема (*а*) и конструкция (*б*) пленочного *RC* генератора (С — емкость, распределенная между полупроводящей и проводящей пленками).

дения проводящих участков делаются отводы B. Кольцо с отводами выполняет функции соединенных последовательно сопротивлений схемы R_1, R_2 и R_3. Отводы служат для подсоединения эмиттера, базы и коллектора транзистора T, цепей нагрузки и питания. Положение отвода между участками кольца с сопротивлениями R_2 и R_3 определяет напряжение смещения на базе транзистора. Для получения положительной обратной связи с коллектора на базу по высокой частоте используется фазосдвигающий четырехполюсник с распределенной емкостью на сопротивлении R_2. На обратной стороне диэлектрической подложки, напротив участка кольца, выполняющего роль сопротивления R_2, осажден и снабжен выводом кольцевой сектор из проводящего материала (показан пунктиром), который и служит обкладкой конденсатора. В качестве активного элемента в микросхеме используется миниатюрный транзистор, который присоединен к соответствующим выводам (показан условно).

Заметим, что однозвенный фильтр из трех обычных элементов не обеспечивает необходимого фазового сдвига, и схема с таким фильтром принципиально не может работать как генератор. Таким образом, за счет применения элемента с распределенными параметрами в микросхеме достигнута значительная экономия числа используемых элементов и габарита.

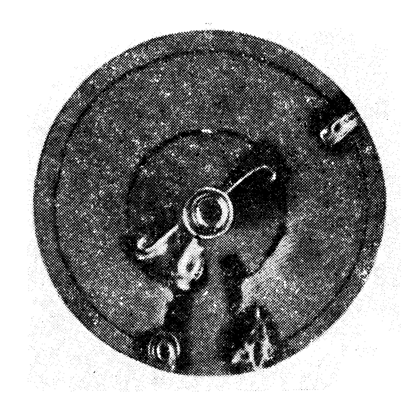


Рис. 20. Экспериментальный образец пленочного RC генератора.

На рис. 20 показан экспериментальный образец микросхемы. Генератор заключается в пластмассовый корпус диаметром 22 и толщиной 0,5 *мм*; плотность монтажа равна 26 элементам на 1 *см*^{2}. Вес генератора 1,4 *г* без корпуса и 4 *г* в корпусе.

Конструкция пленочного мультивибратора выполняется таким же образом. На рис. 21 приведены эквивалентная схема и конструкция мультивибратора. Полупроводящие слои, осажденные на обе стороны диэлектрической подложки, располагаются, как показано на рис. 21,*б*. Емкостная связь между коллекторами и базами транзисторов получается за счет распределенной емкости между сопротивлениями R_1 и R_2 и сопротивлениями R_3 и R_4. Сопротивления (попарно) расположены на подложке одно под другим. В микросхеме используются миниатюрные транзисторы (на рисунке показаны условно).

Устройства на основе пленочных микросхем в настоящее время интенсивно разрабатываются. Они изготовляются в разном конструктивном оформлении, но преимущественно в таком виде, который допускает простую сборку в блоки. На рис. 22 приведена фотография пленочной микросхемы, которая представляет собой триггер, работающий до частоты 20 *Мгц*. Микросхема выполнена на керами-

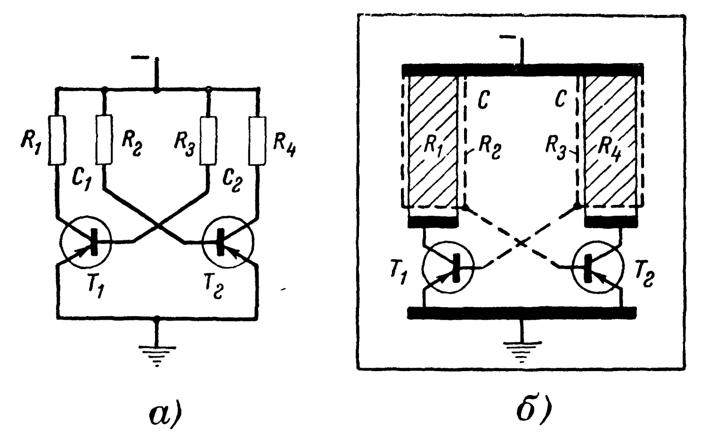


Рис. 21. Эквивалентная схема (*а*) и конструкция (*б*) пленочного мультивибратора (*С* — емкость, распределенная между полупроводящими пленками).

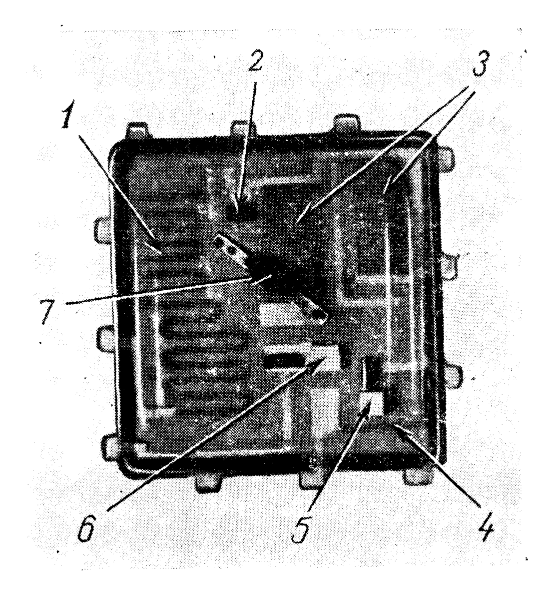


Рис. 22. Микросхема-триггер.

1 — сопротивление 68 *ком*; *2* — транзистор; *3* — сопротивления по 750 *ом*; *4* — сопротивление 6,8 *ком*; *5* — конденсатор 5 *пф*; *6* — конденсатор 20 *пф*; *7* — полупроводниковый диод.

ческой подложке, имеющей 12 выводов, которые служат для дальнейших соединений Размеры микросхемы 12,7×12,7×0,25 *мм*. При сборке устройства микросхемы устанавливаются одна над другой и фиксируются с боковых сторон соединительными платами, которые имеют печатный монтаж для соединений микросхем между собой. Этим методом были изготовлены образцы радиовещательного передатчика размерами 12,7×12,7×22,2 *мм*, а также некоторые логические схемы.

По сообщениям американской печати на основе микросхем разработана вычислительная машина с быстродействием 20 000 операций в секунду и памятью в 40 000 единиц информации. Машина содержит 50 000 элементов в объеме 10 *дм*^{3}, весит 7 *кг*. Она имела один отказ за 1 000 *ч* работы. В машине достигнута плотность монтажа 5 элементов на 1 *см*^{3}. Для устройства с таким большим количеством элементов достигнутая плотность достаточно высока.

В настоящее время существует целый ряд технологических способов получения тонких пленок. К ним относятся химическое осаждение, термическое и катодное напыление в вакууме, металлизация набрызгиванием, фотолитографические методы, методы травления и различные их комбинации. Наибольшее распространение получили модификации термического напыления материалов в вакууме.

Способ термического напыления в вакууме заключается в том, что испаряемый материал (проволока или порошок) нагревается в вакуумной камере с разрежением $5 \cdot 10^{-5}$—$1 \cdot 10^{-7}$ *мм рт. ст.* до температуры кипения. В этой же камере устанавливаются подложки микросхем. Так как температура подложек значительно ниже температуры кипения напыляемых материалов, то на подложках происходят конденсация и осаждение слоев материала Существует несколько способов нагрева материалов до температуры кипения. Для этого используются вольфрамовые и молибденовые спирали, нагреваемые электрическим током, разогрев материала мощными электронными пучками и пр. Если напыляемый материал может быть изготовлен в виде проволоки или ленты, то он непосредственно обвивается вокруг спиральных нагревателей. Порошкообразный и кусковой материалы помещаются в нагреватель, изготовленный в форме лодочки, или насыпаются в тигель.

Термическим напылением в вакууме можно получить пленки из самых различных материалов — из металлов и сплавов, полупроводниковых материалов и пр.

В качестве материала подложки чаще всего используются стекло, керамика, слюда, окись алюминия, диэлектрические материалы (титанаты и пр), а в некоторых случаях металлы Подложки должны быть тщательно обезгажены и очищены и должны иметь очень гладкую поверхность. Методы обезгаживания и очистки индивидуальны для каждого типа подложки. Иногда в процессе осаждения подложки должны быть подогреты, для чего используются специальные проволочные нагреватели, армированные в графит. Применяются также графитовые пластинки, через которые пропускается электрический ток.

Толщина пленок, осаждаемых на подложки, лежит в очень широких пределах (10^{-2}—10^{-6} *мм*); она регулируется расстоянием между напыляемым участком подложки и нагревателем, а также временем напыления Для получения равномерного покрытия подложки располагаются вокруг нагревателя на вогнутых поверхностях. Кон-

троль толщины пленки ведется либо испарением заданного количества материала, либо по светопроницаемости осажденного слоя (для оптических пленок), либо измерением сопротивления осажденного слоя на эталонном элементе, располагаемом рядом с микросхемой, а иногда и на самой микросхеме. Таким образом контроль сопротивления напыляемого участка возможен непосредственно в процессе изготовления микросхемы

Полупроводящие пленки осаждаются из металлов и сплавов с высоким удельным сопротивлением, например хрома, нихрома, а также платины, теллура и др. Величина сопротивления полупроводящей пленки определяется удельным сопротивлением материала, формой и толщиной покрытия. Площадь поверхности осажденного сопротивления определяется из соображений необходимой величины рассеиваемой мощности, а также необходимыми значениями распределенной емкости, если она имеется.

При осаждении нихрома и хрома получают величины сопротивлений от 200 до 10 000 *ом* на квадрат (величина пленочного сопротивления часто указывается в таком измерении, потому что сопротивление пленки, нанесенной в форме квадрата, измеряемое между его противоположными сторонами, не зависит от величины квадрата, а зависит только от толщины пленки и удельного сопротивления материала). Эти сопротивления стабильны и имеют температурный коэффициент, не превышающий $\pm 50 \cdot 10^{-6}$.

Для получения конденсаторов используется двустороннее покрытие диэлектрических подложек проводящими пленками, а в некоторых случаях — многослойное напыление проводящих и диэлектрических пленок Однослойные конденсаторы имеют емкость до 0,02 *мкф* на 1 *см*² площади (емкость зависит от площади электродов и диэлектрической постоянной подложки). Методом распыления тантала с последующим оксидированием поверхности пленки и осаждением проводящего покрытия изготовляются также полярные конденсаторы большой емкости (до 10 *мкф* на 1 *см*² поверхности при рабочем напряжении 2—3 *в*). Получены экспериментальные образцы многослойных танталовых конденсаторов.

Индуктивности могут выполняться в виде толстослойных напыленных спиралей, однако их величина при размерах, совместимых с размерами микросхем, не превышает нескольких микрогенри. Ведутся экспериментальные работы по осаждению магнитных пленок с высокой магнитной проницаемостью, что позволит увеличить индуктивность таких катушек. Однако индуктивности порядка десятка миллигенри и больше пока получаются только путем намотки тонкого провода на миниатюрные тороидальные сердечники.

Для осаждения проводящих пленок используются алюминий, медь, золото, серебро и другие металлы Проводники можно изготовить в виде очень тонких линий (шириной до 0,025 *мм*).

Материалом для осаждения изолирующих и диэлектрических пленок служат двуокись кремния, окись тантала и алюминия, титанат бария и другие материалы.

В пленочных микросхемах используется также осаждение магнитных, люминесцентных, фотоэлектрических и других пленок.

В настоящее время ведутся интенсивные работы по осаждению полупроводниковых пленок, пригодных для изготовления полупроводниковых приборов пленочного типа. Первые практические результаты получены только в отношении диодов. Поэтому в микросхе-

мах пока применяются миниатюрные, часто бескорпусные, диоды и транзисторы

Для получения необходимой конфигурации пленок при вакуумном осаждении используются теневые маски или специальные защитные покрытия (краски). Маски выполняются преимущественно фотолитографическим методом с очень жесткими допусками; технология их изготовления сама по себе требует высокой точности. Внутри вакуумного аппарата имеются устройства для установки, перемещения и смены масок без нарушения вакуума.

Технология производства микросхем предъявляет очень высокие требования к материалам и точности изготовления и связана с применением сложного вакуумного оборудования. Поэтому производство не только серийных, но и экспериментальных микросхем возможно лишь на высокоспециализированных участках.

Несмотря на все трудности, автоматизация производства микросхем считается вполне осуществимой. Предполагается, что в дальнейшем осаждение материалов будет осуществляться ионными пучками, а такие операции, как очистка, механическая обработка, сплавление, сварка, подогрев, — электронными пучками. Для этого разрабатываются устройства типа мощных электронных микроскопов с управляемым лучом.

Конечной целью развития этих методов является разработка такой системы с электронными и ионными управляемыми пучками, которая, будучи загружена подложками и осаждаемыми материалами, позволит получить на выходе готовые и испытанные микросхемы.

7. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Если не говорить о биологических системах, то пределы возможной миниатюризации, видимо, будут достигнуты в таких устройствах, в которых для преобразования сигналов и энергии удастся использовать взаимодействие различных физических, физико-химических и химических процессов в твердых телах, жидкостях и газах. Сверхминиатюрные устройства, очевидно, не будут связаны с механическим и электрическим соединением большого количества отдельных элементов. В настоящее время исследования проводятся главным образом в области физики твердого тела. К исследуемым явлениям относятся пьезоэлектрический эффект в керамических материалах и кварце, термоэлектрический эффект, фотоэлектрический эффект, молекулярный, атомный и ядерный резонанс, криогенные явления, магнитные свойства тонких пленок, магнитострикционный эффект и ряд других. Устройства, основанные на использовании именно этих явлений, вероятно, и следует называть молекулярными.

Однако название «молекулярная электроника» часто применяется по отношению к определенному направлению в создании микроминиатюрных радиоэлектронных устройств, основой которого является физика полупроводников. Это направление начало развиваться в 1958—1959 гг. на основе новейших достижений физики твердого тела и технологии производства и обработки полупроводниковых материалов. В настоящее время оно привело к созданию ряда экспериментальных сверхминиатюрных электронных узлов и даже опытных серий. Эти устройства называют молекулярными устройствами или схемами, твердыми схемами, интегральными схемами,

микроэлектронными устройствами. Так как терминология еще окончательно не установилась, мы будем говорить о них как о молекулярных электронных узлах или устройствах (молектронных узлах и устройствах), учитывая, что это название не является точным.

В конструктивном отношении молектронные устройства представляют собой многослойные структуры из полупроводниковых, проводящих и изоляционных материалов, которые расположены и соединены в объеме твердого тела таким образом, что образуется монолитный блок, обладающий функциональными свойствами электронной схемы (усилителя, генератора, логического устройства и пр.).

В молектронном устройстве отдельные элементы в ряде случаев настолько электрически и конструктивно связаны, что само понятие об элементе электрической схемы становится условным. В этом нет чего-либо необычного. Действительно, электроника давно и широко использует кварцевые пластинки в качестве резонаторов. Кварц как электрическую систему можно представить в виде довольно сложной эквивалентной схемы, состоящей из емкостей, индуктивностей и сопротивлений. Параметры этой схемы и их взаимосвязь с конструкцией очень важны для разработчика кварца. Конструктора электронного устройства интересуют преимущественно параметры всей системы — резонансная частота и добротность, но никто не пытается в кварцевой пластинке отыскать и конструктивно отделить конденсаторы от индуктивностей и сопротивлений. С подобными элементами электрической цепи конструктор встречается довольно часто — достаточно вспомнить о различных «паразитных» параметрах (емкостях, индуктивностях и утечках).

Большинство или даже все элементы молектронного устройства конструктивно объединены и изготовляются одновременно путем ряда технологических процессов. В результате отдельный элемент нельзя скорректировать или заменить, а в ряде случаев невозможно замерить его электрические характеристики. Основное значение имеют характеристики всего узла или устройства, и зависят они по существу не от схемной, а от конструктивно-технологической разработки.

В настоящее время при разработке молектронных устройств исходят из заданных эквивалентных электрических схем, однако этот подход, по-видимому, сильно ограничивает возможности применяемых методов, и поэтому нужна иная теоретическая основа.

Одним из простых примеров молектронного устройства может быть фазосдвигающая *RC* цепь с распределенными параметрами. Эта цепь по своим характеристикам аналогична пленочной схеме, показанной на рис. 17, однако конструктивно она представляет собой монокристалл полупроводника с проводимостью одного типа, на котором осажден тонкий слой полупроводника с проводимостью другого типа и высоким удельным сопротивлением (рис. 23,*а*). В месте соприкосновения слоев образуется *p-n* переход. Если к выводам от осажденного слоя (*А* и *Б*) приложить внешнюю э. д. с., то между ними потечет ток. Если одновременно к *p-n* переходу приложить запирающее напряжение, то этот ток потечет только по осажденному тонкому слою и не будет ответвляться в толщу монокристалла. Таким образом, осажденный слой эквивалентен сопротивлению, монокристалл — проводящему слою, а запертый *p-n* переход — диэлектрическому слою схемы на рис. 17.

Другим примером молектронного устройства может быть выпрямитель, конструкция которого показана на рис. 23,*б*. Полупроводящий слой *А* нагревается переменным током. Выделяющееся тепло, через тонкий изолирующий слой *Б* передается термоэлектрическому слою *В*, который можно представить себе как большое количество термопар, соединенных в параллельно-последовательные группы. Эквивалентной схемой такого устройства является выпрямитель с хорошо сглаживающим фильтром.

В качестве третьего примера рассмотрим полупроводниковое ключевое устройство, схема конструкции которого приведена на рис. 23,*в*. Два полупроводниковых материала с проводимостью разного типа соединены в двуслойную пластину с *p-n* переходом на границе между слоями. Один слой имеет паз, подходящий достаточно близко к границе. Если к точкам *А* и *Б* приложить разность потенциалов, а к основанию — запирающее напряжение, то участок между точками *А* и *Б* будет иметь высокое электрическое сопротивление, и в этой цепи потечет небольшой ток. Если запирающее напряжение уменьшить, то сопротивление участка также уменьшится и в цепи потечет большой ток. Это устройство называется униполярным транзистором.

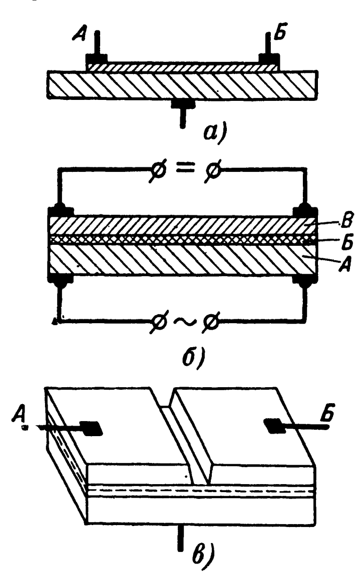


Рис. 23. Конструкция молектронных устройств.

а — *RC* цепь с распределенными параметрами; *б* — выпрямитель; *в* — ключ.

Ряд таких транзисторов, соединенных последовательно, позволяет получить логическую схему *И*, управляемую несколькими сигналами. Конструктивно схема *И* может быть изготовлена в одной двуслойной пластинке, как показано на рис. 24. Если хотя бы на один из четырех входов подано запирающее напряжение, то ток в цепи *А*—*Б* и нагрузке *R* не потечет,

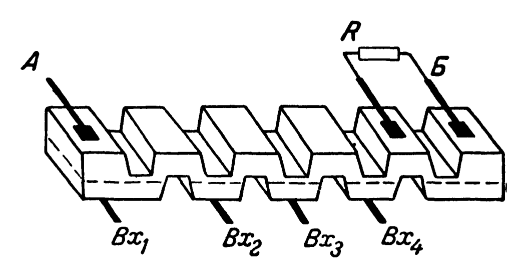


Рис. 24. Конструкция схемы *И* в виде единого молектронного блока.

так как соответствующий участок пластины будет иметь большое сопротивление. И только если на всех входах одновременно будет отсутствовать запирающее напряжение, в нагрузке потечет ток и в выходной цепи появится напряжение.

Более сложным примером молектронного устройства является конструкция триггера. Схема его показана на рис. 25,*а*. Для лучшего понимания конструкции эту схему полезно преобразовать к виду, показанному на рис. 25,*б*. Конструкция триггера показана ча рис. 26. Как видно из схемы, все сопротивления соединены после-

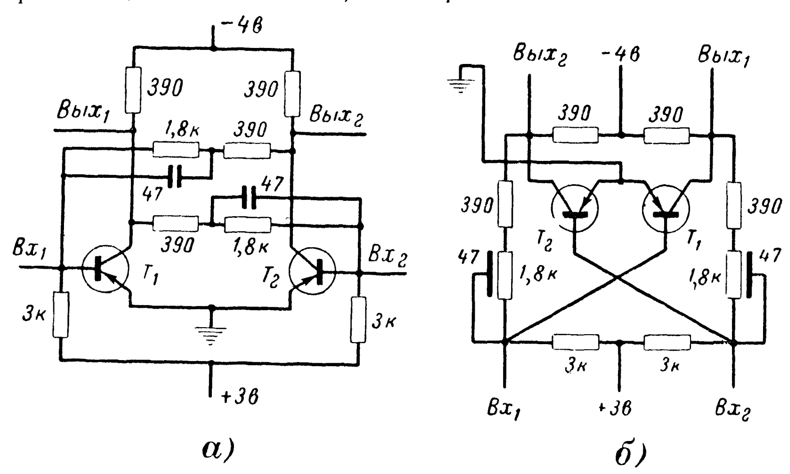


Рис. 25. Схема триггера (*а*) и ее модификация (*б*).

довательно в замкнутую цепь. Поэтому в конструкции они изготовлены из одной пластинки полупроводника в форме прямоугольной рамки. Отдельные участки рамки выполняют роль соответствующих сопротивлений схемы. Конденсаторы выполнены в виде распределенных емкостей на сопротивлениях 1,8 *ком*. Транзисторы образованы на той же пластинке, причем их коллекторами являются участки пластинки, а база и эмиттер получены методом вплавления. Расположение выводов триггера в конструкции соответствует начертанию схемы на рис. 25,*б*. Как видно из рис. 26, некоторые соединения схемы выполнены в виде проволочных перемычек. Подгонка величины сопротивлений производится механической обработкой (в частности, ультразвуковой) соответствующих участков рамки (на рисунке видны следы такой подгонки).

Хотя научные основы конструирования молектронных устройств находятся сейчас в начальной стадии развития, однако широко развернувшиеся экспериментальные работы уже привели к созданию ряда узлов и блоков. На рис. 27 приведен внешний вид усилителя низкой частоты, мультивибратора и двухкаскадного видеоусилителя. Усилитель низкой частоты рассчитан на диапазон частот от 0 до 20 *кгц* и мощность до 5 *вт*.

Кроме триггеров описанной конструкции, изготовлены счетчики на триггерах, набор логических схем для вычислительных машин

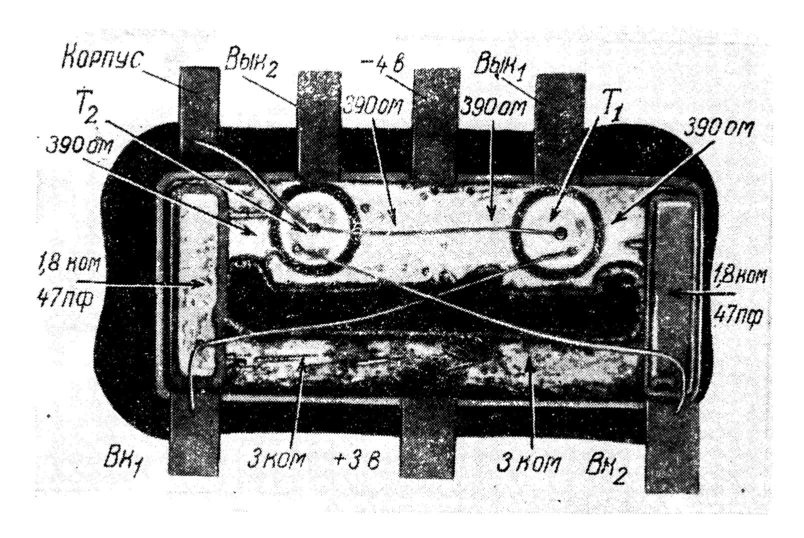


Рис. 26. Конструкция молектронного триггера.

и другие схемы. Указанные узлы размещены в герметичных корпусах размерами 6,4×3,2×0,8 *мм*, объемом 0,16 *см*^{3}. Они рассчитаны для работы в диапазоне температур от —55 до +125° С и потребляют мощность от 2 до 5 *мвт* при напряжении 3 *в*.

На молектронных узлах изготовлена десятиразрядная цифровая вычислительная машина последовательного действия, работающая на частоте 100 *кгц* (рис. 28). Емкость запоминающего устрой-

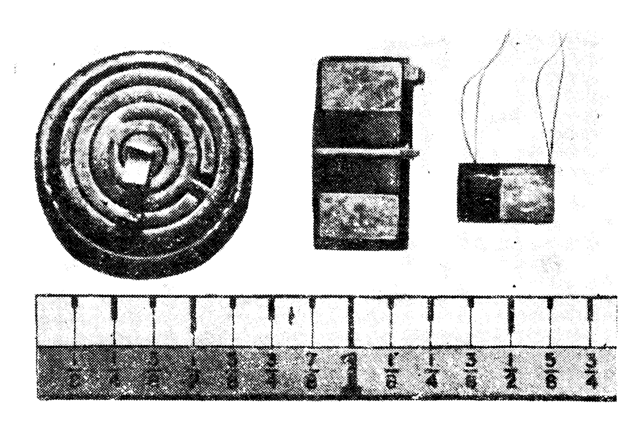


Рис. 27. Усилитель низкой частоты, мультивибратор и видеоусилитель, выполненные в виде молектронных устройств.

ства машины — 300 двоичных единиц. Машина состоит из 47 сменных блоков, каждый из которых содержит от 8 до 16 молектронных узлов (всего 587 узлов). Объем блока ~1 *см*³, а его вес 1,2 *г*. Общий объем машины ~0,1 *дм*³, вес 310 *г*, мощность рассеяния 16 *вт*. Каждый молектронный узел выполняет функции схемы, состоящей из 10—30 элементов, а вся машина эквивалентна устройству из 8 500 обычных элементов. Если машину изготовить из обычных малогабаритных элементов, то она будет в 50 раз больше по весу и в 150 раз по объему.

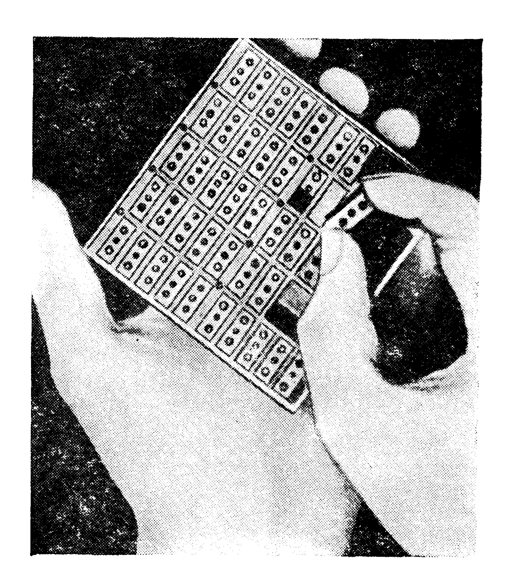


Рис. 28. Вычислительная машина, собранная из функциональных молектронных узлов.

Как видно из приведенных примеров, отличительной особенностью молектронных устройств являются их сверхминиатюрные размеры. Плотность монтажа в одном молектронном узле может достигать 350 000 элементов в 1 *см*³. С учетом объема, занимаемого выводами и соединениями узлов между собой, эта плотность снижается до 9 000 элементов в 1 *см*³. Если учесть также герметизацию и внешние соединения между блоками, то реально достижимая плотность монтажа в молектронном устройстве снижается до нескольких сотен элементов в 1 *см*³. Эта цифра по крайней мере в 10 раз превышает максимально достижимую плотность монтажа в устройствах на пленочных микросхемах и в 100 раз — плотность монтажа в микромодульных устройствах.

Как было указано выше, на плотность монтажа накладывает ограничения мощность, рассеиваемая в узлах. В молектронной вычислительной машине, о которой мы говорили, достигнута плотность монтажа 85 элементов на 1 *см*³, и эта цифра, по-видимому, близка к предельной при мощности рассеяния в каждом узле, равной

в среднем 3—4 *мвт*. Дальнейшее увеличение плотности монтажа связано со снижением мощности рассеяния.

Остановимся на некоторых технологических способах, применяемых для формирования элементов схемы в молектронных устройствах.

Один из способов изготовления сопротивлений заключается в использовании монокристаллов полупроводника из материалов с высоким удельным сопротивлением. Величины таких объемных сопротивлений определяются удельным сопротивлением материала, его длиной и поперечным сечением, и их можно рассчитать обычным способом. Эти сопротивления постоянны в широких пределах приложенных напряжений и при правильном выборе материала имеют малые температурные коэффициенты. Они обладают также малым уровнем собственных шумов, что является их ценной отличительной особенностью. Номиналы объемных сопротивлений достигают 40 000 *ом* и ограничиваются требованиями малогабаритности и удельным сопротивлением имеющихся материалов.

Другой способ изготовления сопротивлений состоит в том, что на монокристалл полупроводника с проводимостью определенного типа наносится способом диффузии тонкий слой материала с проводимостью другого типа. Образующийся на границе слоев *p-n* переход создает потенциальный барьер, который препятствует протеканию тока через всю толщину монокристалла, и ток протекает только по тонкому поверхностному слою.

Оба эти способа рассматривались в приведенных примерах. Возможен и другой вариант поверхностного диффузионного сопротивления. Он заключается в том, что для образования сопротивления используется полупроводниковый материал с малым удельным сопротивлением, а в качестве подложки применяется монокристалл с высоким удельным сопротивлением.

Следует указать на одну особенность в конструкции поверхностных диффузионных сопротивлений. Образуемые на поверхности монокристалла полупроводника участки сопротивления можно «изолировать» друг от друга простой прорезкой канавок с помощью алмазного резца, абразива или травлением, так как в обоих случаях ток протекает только по поверхностному слою и практически не проникает в монокристалл.

Третий способ получения сопротивлений состоит в использовании тока утечки через полупроводниковый переход, к которому приложено запирающее напряжение В этом случае один контактный электрод находится со стороны *p* слоя, а другой — со стороны *n* слоя перехода. Этот тип сопротивления обладает заметным температурным коэффициентом, и его величина зависит от приложенного напряжения. Величина сопротивления запертого *p-n* перехода может достигать 500 *ком*.

Для изготовления элемента конденсатора в молектронных устройствах применяются в основном два способа.

Первый из них заключается в том, что поверхность монокристалла кремния окисляется до получения тонкой пленки окиси кремния, являющейся диэлектриком. На окисную пленку наносится затем проводящий слой. Монокристалл и проводящий слой являются обкладками конденсатора. Конденсаторы этого типа имеют температурный коэффициент порядка 10^{-4} на 1° С, слабую зависимость емкости от приложенного напряжения и высокую стабильность во

времени. Они могут работать при температуре 150° С Для пробивных напряжений 50 *в* можно изготовлять конденсаторы емкостью 50 000 *пф* на 1 *см*^{2}. Наибольшая емкость определяется допустимыми размерами и лежит практически в пределах 500—1 000 *пф*. Этот способ изготовления конденсаторов аналогичен способу, применяемому в пленочных микросхемах.

Второй способ изготовления элемента конденсатора состоит в использовании свойств *p-n* перехода с обратным смещением. Диэлектриком в этом случае является запирающий слой, от ширины и толщины которого зависит емкость. Так как толщина запирающего слоя зависит от величины приложенного напряжения смещения, то это напряжение и определяет емкость Для ряда схем свойственные полупроводниковым конденсаторам полярность и зависимость емкости от приложенного напряжения являются недостатком. Можно использовать встречное включение двух *p-n* переходов с обратным смещением и получить неполярный конденсатор. Однако второй из указанных недостатков при этом сохраняется. Использование *p-n* перехода позволяет получить емкость, достигающую 100 000 *пф* на 1 *см*^{2} при низких пробивных напряжениях и до 10 000 пф на 1 *см*^{2} при пробивном напряжении до 300 *в*. Максимальная емкость практически применяемых конденсаторов равна 2 000 — 5 000 *пф*.

Переход с обратным смещением при соответствующем подборе материалов и геометрии может играть роль параллельно соединенных конденсатора и сопротивления

Указанными способами в молектронных устройствах получены самые разнообразные варианты *RC* цепей с распределенными параметрами, которые, как и в пленочных микросхемах, находят применение в качестве фильтров, линий задержки и других элементов схем

Что касается элементов индуктивности, то, как и в других методах микроминиатюризации, их изготовление представляет собой наибольшую трудность. Индуктивности имеют слишком большие размеры и плохо совмещаются с молектронными устройствами. Представляют определенный интерес электронные полупроводниковые эквиваленты индуктивности, сообщения о разработке которых имеются в печати.

Полупроводниковые активные элементы изготовляются теми же технологическими способами, которые в настоящее время применяются при изготовлении обычных полупроводниковых приборов. Это в основном методы сплавления материала с разными типами проводимости или методы диффузии примесей. Рассмотрим кратко оба названных метода.

При вплавлении выбранная примесь, например индий, осаждается на заданном участке полупроводниковой пластины Пластина нагревается до расплавления примеси и поверхности полупроводника. При охлаждении область вкрапления примеси затвердевает, образуя *p-n* переход Процессы плавления и затвердевания протекают быстро, и глубина проникновения примеси в толщу полупроводника трудно контролируется, что ограничивает воспроизводимость характеристики перехода.

Диффузионный способ введения примесей заключается в том, что полупроводниковый монокристалл разогревают в атмосфере паров примеси, причем происходит постепенное проникновение атомов

примеси в кристаллическую решетку полупроводника Этот процесс является относительно медленным и контролируется с боль шой точностью (до сотой доли миллиметра), что позволяет получать переходы с воспроизводимыми характеристиками При диффу зионном процессе область перехода может быть легко ограничена контурами защитной пленки окиси кремния, которая получается при нагревании кремния в атмосфере кислорода Способом фотохимического травления ее можно затем удалить с тех участков по верхности монокристалла, где предполагается размещение переходов Для растворения пленки окиси кремния применяется фтористо водородная кислота, не действующая на кремний и фотослой Описанный способ образования как защищенных, так и открытых участков монокристалла называется способом оксидной маски, он широко применяется для формирования слоев в молектронных узлах

Использование метода диффузии позволяет получить высокоча стотные полупроводниковые устроиства с малым временем сраба тывания и хорошей воспроизводимостью характеристик

После того как на монокристалле полупроводника образованы переходы, сопротивления и конденсаторы, между различными эле ментами узла делаются при необходимости внешние электрические соединения Для образования внешних соединений на соответствующие участки пластинки наносится электрохимическим путем ме таллический контакт, который сплавляется с материалом основы образуя сплавной контакт К сплавному контакту методом термо компрессии прикрепляются выводы После образования контактов и частично внешних соединений пластинке придается необходимая форма, для чего используются надрезы, пропилы и другие опера ции, выполняемые алмазными резцами, а также методом фототрав ления Внешние выводы готового устройства изготовляются из золоченых коваровых полосок, прикрепляемых методом термоком прессии к выводным сплавным контактам Готовый узел герметизи руется тем или иным способом

Разновидностью рассмотренных способов изготовления молек тронных узлов является способ, использующий многослойные полу проводниковые материалы (многозонные кристаллы) Полупроводниковая многозонная пластинка имеет в своей основе кремниевую пластинку, на которую методом диффузии последовательно осаж даются слои с проводимостью различного типа Полученный таким образом слоеный кристалл пропиливается в нужных направлениях для получения схемы с заданными свойствами, как это было пока зано на примере конструкции схемы *И*

Итак, основой всех элементов молектронного устройства слу жит пластинка из полупроводникового монокристалла В техноло гии призводства таких пластинок существуют два направления

Одно из направлений использует в качестве основы молектронного устройства выращенные, нарезанные на пластинки нуж ного размера отполированные кристаллы полупроводникового мате риала, т е пластинки, подготовленные так же, как они готовятся в производстве полупроводниковых приборов Это главным образом пластинки кремния, который по сравнению с германием обладает рядом преимуществ Кремний имеет более высокое удельное сопро тивление (порядка 10 *ом см*), достаточное для изготовления боль

шинства применяемых номиналов сопротивлений, он легче поддается избирательнои диффузии, имеет более однородную поверхность и допускает более высокую температуру узла Для получения ряда одинаковых узлов, обладающих максимально подобными характеристиками, их часто выполняют на однои пластине с единым технологическим процессом Пластина затем разрезается на части

Большой интерес представляет второе направление изготовления полупроводниковых монокристаллов Это так называемый дендритный способ выращивания кристаллов, который заключается в следующем В расплавленный полупроводниковый материал, температура которого лишь на несколько градусов превышает температуру плавления, погружается заранее приготовленный образец такого же материала, имеющий определенную кристаллическую структуру Когда конец образца начинает плавиться, поверхность расплава быстро охлаждается на несколько градусов ниже температуры плавления, и образец начинают медленно и равномерно вытягивать из расплава Образец является центром кристаллизации расплавленного материала, и на его конце вытягиваются ленты затвердевшего полупроводника с очень чистой поверхностью и однородной кристаллической структурой Вытягиваемые ленты полупроводника шириной 2—3 и толщиной 0,1—0,5 *мм* наматываются на барабан большого диаметра Скорость вытягивания ленты составляет 10—30 *см/мин* Получаемый таким образом полупроводниковый материал не требует никакой дополнительной обработки и обладает стабильными характеристиками

Процесс выращивания полупроводниковой основы можно совместить с операциями диффузии, осаждения или испарения примесей и получить уже в процессе роста кристалла полупроводниковые переходы, участки сопротивлений и емкостей Методом диффузии были изготовлены, например, полупроводниковые ленты с распределенными по длине полупроводниковыми триодами

Дальнейшим развитием этого метода является выращивание многозонных кристаллов При совмещении этих процессов с поверхностной обработкой возникает исключительная перспектива выращивания ленты с готовыми молектронными узлами, которые остается только отделить друг от друга, снабдить выводами и герметизировать Таким способом уже получены образцы молектронных мультивибраторов и другие узлы.

В заключение следует сказать, что разработка молектронных устройств является совершенно новым путем создания миниатюрной радиоэлектронной аппаратуры, требующим объединения усилий радиоинженеров, физиков и технологов При осуществлении этих разработок невозможно отделить роль и задачи разработчиков элементов, схем и устройств Технологические процессы отличаются сложностью оборудования, трудностью переналадки и требуют высокой степени автоматизации и тщательного контроля на основных этапах изготовления Технологические процессы и имеющиеся материалы будут, видимо, определять и конструкцию молектронных узлов и устройств

Микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры на основе методов молекулярной электроники является, пожалуй, самым перспективным направлением, несмотря на большие технологические трудности и ряд присущих методу ограничений

8. ДРУГИЕ МЕТОДЫ МИКРОМИНИАТЮРИЗАЦИИ

Из приведенного описания сущности новых методов видно, что четкой грани между ними не существует. Метод микросхем в ряде случаев использует полупроводниковые приборы в виде отдельной детали. С равным успехом могут быть использованы и целые функциональные узлы из полупроводникового материала. В свою очередь разработка молекулярной электроники связана с использованием технологии производства тонких пленок. Микромодульный метод только на начальном этапе развития предусматривает одноэлементные платы. При дальнейшем развитии этого метода на каждой плате будет размещаться несколько элементов или даже целая схема функционального узла. Такая схема может быть выполнена методами тонких пленок, молекулярной электроники и, возможно, некоторыми другими методами.

Наряду с рассмотренными основными методами микроминиатюризации и уплотненного монтажа обычных радиоэлементов существует ряд методов, которые нельзя непосредственно отнести ни к одному из рассмотренных.

Есть методы, которые, так же как и микромодульный метод, основаны на использовании миниатюрных элементов стандартной формы. Однако в отличие от микромодульных эти элементы более универсальны, так как пригодны для различных вариантов конструкций блоков аппаратуры. В частности, некоторые зарубежные фирмы изготовляют элементы в виде таблеток с выводами, расположенными на плоскостях. Одна фирма, например, предусматривает элементы диаметром от 0,63 до 2,54 и высотой 1,6 *мм*, а другая — диаметром 1,25 и высотой 0,75 *мм*. Эти элементы вставляются в отверстия печатной платы и присоединяются к печатным проводникам проводящими пастами или другим способом. Габариты блока при этом практически определяются размерами печатной платы. Такая конструкция, с одной стороны, приближается к методу микросхем, а с другой стороны, имеет преимущества обычных методов монтажа, при которых элемент не теряет своих индивидуальных свойств после сборки узла и при его неисправности может быть заменен новым.

В связи с этим нужно отметить следующее. В настоящее время наиболее перспективными считаются методы микросхем и молектроники, при которых либо отсутствуют элементы как самостоятельные детали конструкции, либо они изготовляются в процессе производства узла. Можно ли считать, что радиоэлектроника в будущем совершенно не будет использовать отдельные элементы — сопротивления, конденсаторы и пр.? Этот вопрос достаточно спорный. Сейчас трудно предрешать, какими путями пойдет дальнейшее развитие технических средств радиоэлектроники, однако нет оснований считать, что в ближайшие 10—20 лет радиоэлементы станут ненужными. Даже при широком внедрении молектронных узлов согласование этих узлов между собой и с питающими напряжениями потребует наличия отдельных элементов. В ряде случаев использование молектронных устройств в комбинации с обычными элементами позволит получить новый полезный эффект. Наконец, несомненно, будут нужны элементы подстройки и регулировки.

В связи с этим целесообразно подумать, какими должны быть элементы, чтобы они достаточно хорошо компоновались с молек-

тронными или пленочными функциональными узлами Они, конечно, должны иметь малые габариты, допускать простую сборку в составе узла, быть пригодными для использования на печатных платах и даже в обычном навесном монтаже. Этот вопрос ждет своего решения.

В какой-то степени поставленным условиям отвечают цилиндрические элементы. Предложены и другие, например кубические, микроэлементы; возможны различные способы соединения элементов между собой и с печатным монтажом.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

МИКРОМОДУЛИ ЭТАЖЕРОЧНОГО ТИПА И МИКРОМОДУЛЬНАЯ АППАРАТУРА

9. МИКРОЭЛЕМЕНТЫ

Микромодули этажерочного типа, используемые фирмой RCA, имеют следующие геометрические размеры: сторона основания залитого микромодуля 8,9 *мм*, длина сторон микроэлемента 7,9 *мм*, диаметр соединительных проводников с учетом покрытия их припоем 0,36 *мм*, расстояние между соседними пазами 1,9 *мм*, расстояние между центрами противолежащих пазов 7,6 *мм*, минимальный зазор между микроэлементами 0,25 *мм*.

При условии, что на каждой микромодульной плате смонтирован один элемент, максимально возможная плотность монтажа в такой конструкции составляет 24 элемента на 1 *см*^{3}.

В качестве основания для микроэлементов используются плоские тонкие (толщиной 0,25—0,3 *мм*) пластинки из изоляционных материалов (микроплаты). Микроплата может быть не только основанием, но и составной частью конструкции микроэлемента, например твердым диэлектриком конденсатора малой емкости, обкладки которого наносятся на обе стороны микроплаты. В некоторых случаях, например для монтажа миниатюрных полупроводниковых приборов, используются более толстые платы с фасонными отверстиями, выемками и т. п. На рис. 29 показана конструкция микроплаты. Она имеет прямоугольный вырез (ключ) около одного из углов, служащий для ориентации микроэлемента при сборке в микромодуль. От длинной стороны выреза ведется отсчет условной нумерации пазов, используемой для обозначения цоколевки, т. е. для обозначения пазов, к которым присоединены выводы элемента.

При сборке в микромодуль микроэлемент можно установить в восьми различных положениях, которые однозначно определяются положением ключа; возможные положения микроэлемента показаны на рис. 30.

Наиболее подходящим материалом для изготовления микроплат и других оснований микроэлементов признаны керамические материалы (ультрафарфор, стеатит, конденсаторная керамика). Методом пластического прессования или горячего литья этим материалам легко придается необходимая форма. Они обладают достаточной механической прочностью в тонких пластинках, теплостойки и

влагостойки, а также имеют высокие изоляционные и необходимые диэлектрические свойства. Методом вжигания или вакуумного напыления серебра, золота, платины, палладия на керамических платах создаются проводящие участки нужной формы. Этим путем металлизируются пазы, контактные дорожки для пленочных сопро-

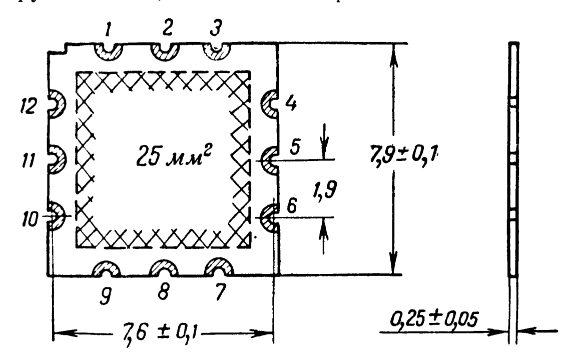


Рис. 29. Конструкция микроплаты RCA (указаны зона и площадь рабочей части элемента).

тивлений, обкладки конденсаторов, проводники, соединяющие выводы элементов с пазами. При изготовлении проводящих покрытий методом вжигания металла все покрытия выполняются до установки элементов на микроплату. Чтобы обеспечить контакт между выводами элемента и проводящими покрытиями на микроплате, при-

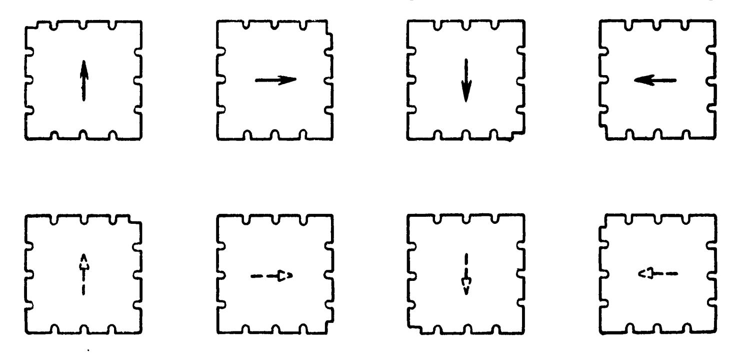


Рис. 30. Возможные положения микроэлемента при сборке в микромодуль.

меняются пайка специальными припоями или затвердевающие проводящие суспензии металлов (готовятся на эпоксидных смолах и органических клеях).

Приведем краткий обзор способов, применяемых для изготовления некоторых микроэлементов.

С о п р о т и в л е н и я изготовляются путем нанесения на микроплату тонких пленок с высоким удельным сопротивлением,

в том числе методом вакуумного напыления металлов и сплавов. Одним из составов, используемых при изготовлении сопротивлений, служит металло-стеклянная смесь окиси олова с сопротивлением от 100 до 35 000 *ом* на квадрат. Такое покрытие обеспечивает получение номиналов сопротивления от 47 *ом* до 100 *ком* с температурным коэффициентом около $50 \cdot 10^{-6}$. Путем вакуумного напыления нихрома на микроплату через маски получены сопротивления с номиналами от 1 *ом* до 35 *ком* и температурным коэффициентом $50 \cdot 10^{-6}$ Имеются сплавы, которые позволяют получить сопротивления с номиналами от 10 *ом* до 1 *Мом* и температурным коэффициентом $200 \cdot 10^{-6}$. Применяются также углеродистые пленки, которые имеют, однако, высокий температурный коэффициент.

Пленки сопротивления могут быть нанесены как в виде сплошного покрытия, так и в виде ряда тонких линий, змейки, спирали. Эти способы позволяют получить большие величины сопротивлении, а также допускают некоторую регулировку номиналов.

Мощность, рассеиваемая микросопротивлениями, для большинства образцов не превышает 0,25 *вт*, но имеются сопротивления на мощность рассеяния 0,5 *вт*.

Конденсаторы изготовляются также несколькими способами. Мы уже упоминали о возможности изготовления конденсаторов путем двусторонней металлизации микроплаты. Применяя конденсаторные керамические материалы с малым температурным коэффициентом диэлектрической проницаемости, этим способом получают стабильные конденсаторы с номиналами от единиц до нескольких сотен пикофарад и рабочим напряжением 100 *в* и более. Керамические материалы с большими значениями диэлектрической проницаемости нельзя применить в такой конструкции, поскольку при этом сильно возрастает емкость между соединительными проводниками микромодуля Для изготовления конденсаторов емкостью до нескольких десятков тысяч пикофарад применяются металлизированные керамические пленки толщиной в несколько десятков микрон, из них приготовляются многослойные конденсаторные галеты, которые затем монтируются на микроплатах Изготовляются также танталовые конденсаторы емкостью от 0,2 до 15 *мкф* на рабочее напряжение до 35 *в*, которые монтируются таким же образом.

При изготовлении конденсаторов применяется и метод вакуумного напыления диэлектриков на металлические подложки Такими диэлектриками являются окись алюминия и окись кремния.

Конденсаторные микроэлементы рассчитаны на работу в диапазоне температур от —55° С до +85° С. Стабильные конденсаторы выпускаются с допусками ±1%, ±5% и ±10%.

Индуктивности изготовляются в виде смонтированных на микроплатах катушек, намотанных на миниатюрные тороидальные сердечники. На тороидальных сердечниках с малым температурным коэффициентом изготовляются катушки индуктивностью до 10 *мгн* и добротностью, превышающей 100 на частоте 50 *Мгц*. Как показали исследования, ферритовые сердечники должны быть защищены от деформаций, возникающих при заливке катушек компаундами (например, при герметизации микромодуля). В связи с этим разработаны защитные пористые и пластичные компаунды для предварительной герметизации самих катушек В некоторых случаях в конструкциях катушек индуктивности применяются защитные кол-

пачки. В настоящее время ведутся исследования возможности использования тонких пленок из ферромагнитных сплавов (толщиной до 1 *мк*) для изготовления менее габаритных индуктивностей.

Транзисторы и диоды изготовляются главным образом путем монтажа полупроводниковых переходов на фасонных керамических платах. Влагозащита полупроводниковых приборов до некоторой степени обеспечивается заливкой специальными компаундами. Такая защита, однако, недостаточна. Для надежной герметизации полупроводникового прибора применяются металлические колпачки или пластинки, припаиваемые к проводящим покрытиям на микроплате. В ряде случаев применяются миниатюрные герметизированные (заключенные в корпус) полупроводниковые приборы, которые укрепляются на микроплате. Выводы полупроводникового прибора присоединяются к контактным участкам платы с помощью пайки или проводящих составов, а также методом вакуумного напыления металлов. В настоящее время для микромодулей изготовляются плоскостные и диффузионные транзисторы, кремниевые диоды и стабилитроны; вполне возможно изготовление и новых полупроводниковых приборов (туннельных диодов, меза-транзисторов и пр.).

Для микромодулей изготовляются термосопротивления в широком диапазоне номинальных величин, кварцы на частоты от 7 до 70 *Мгц*, а также комплексные микроэлементы, содержащие на одной плате несколько (до четырех) сопротивлений, а также *RC* и *LC* фильтры.

Следует заметить, что если сопротивления и конденсаторы изготовляются на тонких платах и имеют небольшую общую высоту, то полупроводниковые приборы, электролитические конденсаторы и главным образом катушки индуктивности плохо поддаются выполнению в виде плоской тонкой пластинки. Эти элементы занимают небольшую часть площади платы, но в ряде случаев значительно увеличивают высоту микроэлементов. Увеличение же высоты микроэлемента приводит к резкому снижению плотности монтажа в микромодуле и является одной из причин того, что предельная плотность монтажа (24 элемента на 1 $см^3$) не достигнута и в среднем не превышает 10—12 элементов на 1 $см^3$.

10. СОЕДИНЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В МИКРОМОДУЛЕ

Как уже указывалось, электрические и механические соединения микроэлементов между собой осуществляются двенадцатью вертикальными соединительными проводниками. Таким образом, с точки зрения электрических соединений каждый проводник является узловой точкой схемы микромодуля, общее число которых без разделения проводника на изолированные участки не может превышать 12. В связи с большим разнообразием схем может потребоваться соединение микроэлементов между любыми соединительными проводниками. Возможность таких соединений непосредственно связана со способом соединения элементов с пазами микроплаты.

Каждый неполярный элемент с двумя выводами можно присоединить к пазам платы в 66 различных комбинациях, а полярный элемент в 132 комбинациях. Учитывая, что плата может располагаться в микромодуле в 8 различных положениях, число необходимых соединений резко сокращается и составляет для неполярных

элементов 12 различных комбинаций (цоколевок), а именно: *1—2*, *1—3*, *1—4*, *1—5*, *1—6*, *1—7*, *1—8*, *1—9*, *1—11*, *1—12*, *2—5*, *2—8*. Полярные микроэлементы, кроме перечисленных цоколевок, должны иметь следующие комбинации: *1—10*, *2—3*, *2—4*, *2—6*, *2—7*.

Если выпускать всю необходимую номенклатуру микроэлементов с таким количеством различных цоколевок, то их производство становится громоздким, так как номенклатура возрастает в десятки раз (а с учетом цоколевок трехвыводных микроэлементов — в сотни раз). Все эти цоколевки действительно нужны, если необходимые электрические соединения в микромодуле производят только при помощи его соединительных проводников. В микромодуле, однако, возможно применение перемычек между проводниками, которые по-

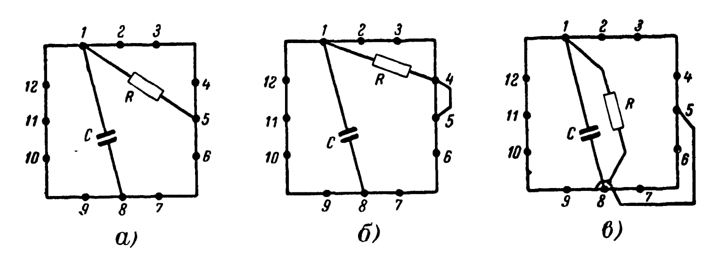


Рис. 31. Примеры соединений микроэлементов в микромодуле.

зволяют переносить электрические цепи с одного проводника на другой, а также разрезов на них, позволяющих разделять электрические цепи, находящиеся на одном проводнике. Эти способы дают возможность сократить количество применяемых цоколевок.

Приведем пример. Пусть в микромодуле необходимо выполнить соединение, как показано на рис. 31,*а*, т. е. получить вывод сопротивления на проводнике *5*, вывод конденсатора на проводнике *8*, а их общую точку на проводнике *1*. Для этого, как видно, использованы сопротивление с цоколевкой *1—5* и конденсатор с цоколевкой *1—8*. Если микроэлемент сопротивления с цоколевкой *1—5* отсутствует, но имеется сопротивление с цоколевкой *1—4*, то соединение можно выполнить, как показано на рис. 31,*б*, с применением перемычки между проводниками *4* и *5*. Если же цоколевка *1—4* также отсутствует, но имеется цоколевка *1—8*, то соединение можно выполнить, как показано на рис. 31,*в*, с применением разреза на проводнике *8* и перемычки между проводниками *8* и *5*. Перемычка присоединяется к той части проводника *8*, к которой присоединено сопротивление (эта часть обозначена дугой).

Было бы ошибкой, однако, полагать, что можно ограничиться, например, одним вариантом цоколевки. Попытки сконструировать микромодули для нескольких простых электрических схем показывают, что в ряде случаев это связано с нарушением механической прочности микромодуля, увеличением числа паяных соединений, увеличением габаритов и значительным усложнением конструкции.

Таким образом возникает вопрос о целесообразном количестве применяемых цоколевок.

Среди перечисленных выше цоколевок есть такие, которые дают повторяющиеся соединения при восьми различных положениях микроэлемента в микромодуле. На рис. 32 показаны все возможные положения микроэлементов сопротивления и диода с цоколевкой *2—8*. Здесь видно, что неполярный элемент сопротивления с цоколевкой *2—8* позволяет получить только два, а полярный элемент диода — четыре различных соединения с проводниками микромодуля. Можно убедиться и в том, что неполярные микроэлементы с цоколевками *1—3*, *1—6*, *1—7*, *1—9*, *1—12* и *2—5* также дают повторяющиеся соединения. Такие микроэлементы имеют ограниченные коммутационные возможности, и их изготовление, очевидно, менее целесообразно.

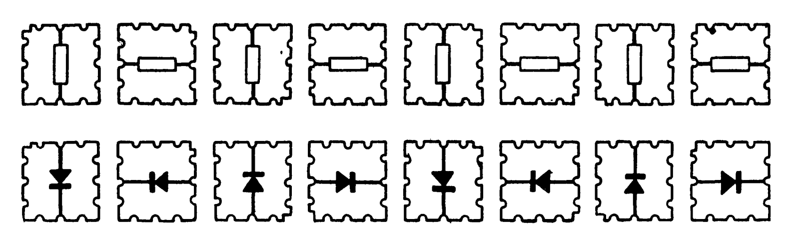


Рис. 32. Возможные положения микроэлементов сопротивления и диода с цоколевкой *2—8*.

Изготовление микроэлементов, выводы которых присоединяются к соседним пазам (цоколевки *1—2*, *1—12* и *2—3*), вызывает некоторые технологические затруднения. Это в некоторой степени относится и к цоколевке *1—11*. Таким образом, для неполярных микроэлементов наиболее целесообразно изготовление цоколевок *1—4*, *1—5* и *1—8*. Эти три цоколевки обеспечивают 24 варианта соединения микроэлемента с проводниками микромодуля.

Цоколевки *1—3*, *1—6*, *1—7*, *1—9* и *2—5*, которые для неполярных микроэлементов дают повторяющиеся соединения, для полярных элементов обеспечивают восемь различных соединений (из них четыре дают соединения микроэлемента с теми же проводниками микромодуля, но в обратной полярности). Среди изготовляемых вариантов цоколевок полярных элементов целесообразно, по-видимому, иметь и некоторые из этого ряда.

Цоколевки транзисторов и других многовыводных элементов возможны в очень большом числе вариантов. Оптимальный вариант определяется практикой и конструктивными соображениями (как правило, выводы транзистора присоединяются к разным сторонам платы).

Кроме рассматриваемого способа, при котором вывод элемента заранее (при его изготовлении) присоединяется к одному пазу микроплаты, возможны и другие способы. Установленный на микроплату элемент может не иметь соединений с пазами. Необходимое соединение в этом случае выполняется с любой требуемой цоколевкой непосредственно при изготовлении микромодулей. Или, наоборот, выводы элемента могут быть заранее соединены с несколькими пазами микроплаты с тем, чтобы при изготовлении микромодулей лишние соединения были устранены.

На рис. 33 показан пример микроэлемента конденсатора, обкладки которого находятся с обеих сторон платы и имеют соединения с несколькими пазами (с одной стороны с семью, с другой — с пятью пазами). Можно убедиться, что, удаляя ненужные соединения, можно получить все варианты цоколевок (12 цоколевок). На рис. 34 показан пример микроэлемента диода, у которого один

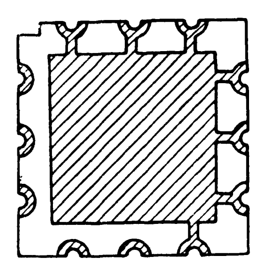
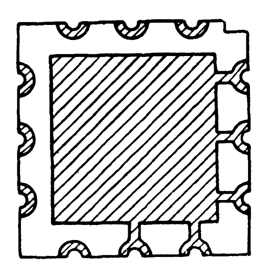



Рис. 33. Пример микроэлемента конденсатора с универсальной цоколевкой.

вывод (например, +) соединен с пазом *1*, а другой вывод — со всеми остальными пазами платы. Удаляя лишние соединения, можно получить почти все необходимые цоколевки (нельзя получить те цоколевки, которые имеют + на пазе *2*).

Микроэлементы с подобной универсальной цоколевкой более удобны для лабораторного изготовления микромодулей, в то время как для серийного производства микромодулей предпочтительны ва-

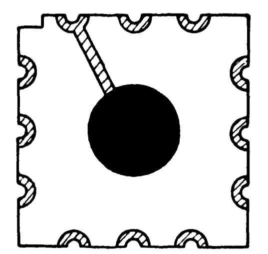
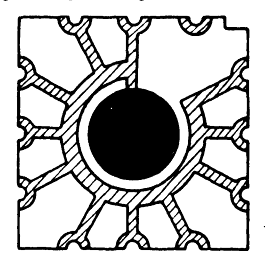



Рис. 34. Пример микроэлемента диода с универсальной цоколевкой.

рианты цоколевки, не требующие доработки (например, *1—4*, *1—5* и *1—8*). Если микроэлементы с этими цоколевками использовать для лабораторных целей, то это приведет к значительному увеличению необходимого ассортимента микроэлементов. По-видимому, наиболее рациональным являются ограничение числа цоколевок выпускаемых микроэлементов до двух-трех, а также создание варианта полууниверсальной цоколевки, обеспечивающей получение необходимых вариантов путем доработки. В этом случае разработчики будут пользоваться микроэлементами с универсальной цоколевкой, а для серийного производства будут поставляться микро-

элементы с конкретными цоколевками из числа допустимых. Для сопротивлений и неполярных конденсаторов полууниверсальная цоколевка может быть, например, такой, как показано на рис. 35. При несложной доработке (разрыв двух перемычек) можно получить микроэлементы, равноценные элементам с цоколевками *1—4*, *1—5*, *1—7* и *1—8*. Если использовать ту же цоколевку для полярных элементов, то при доработке получаются микроэлементы, равноценных элементам с цоколевками *1—4*, *1—7*, *2—6* и *2—7*. Аналогично можно поступить и с транзисторами.

Остановимся теперь на способах выполнения перемычек между соединительными проводниками и разрезов на них.

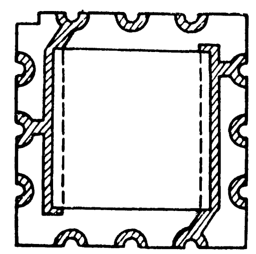


Рис. 35. Неполярный микроэлемент с полууниверсальной цоколевкой.

Как было показано, перемычки между проводниками и разрезы являются дополнительным средством монтажа электрической схемы в микромодуле. В условиях ограниченной номенклатуры цоколевок они должны применяться очень широко.

При массовом производстве микромодулей перемычки могут выполняться в виде печатных проводников на отдельной микроплате. Такая микроплата с перемычками устанавливается в микромодуле так же, как и любой микроэлемент. На обеих сторонах микроплаты можно нанести несколько печатных перемычек. Микроплата с перемычками является, очевидно, элементом конструкции микромодуля данного типа, хотя не исключено и серийное изготовление определенной номенклатуры таких микроплат.

Иногда в микромодулях с обеих концов устанавливаются специальные концевые платы, размер которых равен размеру микромодуля. Эти платы имеют большую толщину (0,5 *мм*) и обеспечивают прочное крепление соединительных проводников на концах микромодуля. Одновременно они выполняют роль плат с перемычками.

Для экспериментальных образцов микромодулей можно использовать проволочные перемычки, изготовляемые из медной луженой проволоки диаметром 0,1—0,15 *мм*.

Разрезы на проводниках микромодуля должны быть расположены между микроэлементами и в ряде случаев — в очень узких промежутках (шириной 0,25 *мм*). Разрез нельзя выполнить простыми кусачками или ножницами, так как при этом проводник сильно изгибается и тонкие керамические платы соседних микроэлементов испытывают большие усилия и легко ломаются. Разрез выполняется специальным инструментом, который позволяет вырезать и удалить часть проводника длиной 0,2 *мм*.

11. КОНСТРУИРОВАНИЕ МИКРОМОДУЛЕЙ

В общем случае разработка микромодуля включает как разработку его электрической схемы, так и разработку конструкции; при этом разработка электрической схемы и цоколевки микромодуля являются исходными данными при разработке конструкции и выполняются в первую очередь.

Выбор и требования к электрической схеме зависят прежде всего от назначения микромодуля а именно от того, предназначен ли он для широкого применения в аппаратуре разного типа (как унифицированный узел) или же разрабатывается специально для одного какого либо устройства

Схемы микромодулей широкого применения, как правило, разрабатываются на основе тщательного анализа аналогичных схем, при меняемых в разной аппаратуре Это позволяет выбрать те схемы, которые имеют наиболее универсальные характеристики и могут быть широко использованы Характер возникающих здесь задач мож но пояснить на следующем примере Пусть, например, разрабатывается унифицированный микромодульный триггер (триггеры исполь зуются столь широко, что, пожалуй, нет такой области радиоэлектроники, где не применялись бы триггерные схемы в той или иной модификации) Если рассматривать только вопросы запуска триггера, то при разработке унифицированного узла следует, видимо, учесть что запуск может осуществляться импульсами разной полярности, амплитуды и частоты следования, запускающие импуль сы могут быть поданы как на базы, так и на коллекторы транзи сторов триггера и могут воздействовать по раздельным входам или общему (счетному) входу, а часто и обоими путями Учитывая раз нообразие условий запуска, следует, видимо, сделать вывод, что в схему унифицированного триггера нецелесообразно вводить ту или иную конкретную схему формирования импульса запуска По-видимому, более правильно выделить схемы формирования в самостоятельный унифицированный микромодуль, а у триггера вывести все необходимые узловые точки схемы с тем, чтобы можно было осуществить различные варианты сочетания триггера со схемами формирования

В аппаратуре встречаются самые разнообразные требования, касающиеся входных сопротивлений, нагрузочной способности, пи тающих напряжений, потребляемой мощности, механических и кли матических условий работы, и при разработке унифицированного узла каждый из этих вопросов решается так, чтобы удовлетворить требования наиболее широкого класса аппаратуры

При разработке микромодульной аппаратуры только в редких случаях, видимо, удастся создать принципиальную схему устройства, основанную целиком на применении унифицированных микромо дулей, даже если аппаратура по диапазону частот, потребляемой мощности и другим параметрам может быть выполнена в микро модульном исполнении Всегда найдется определенное число каскадов, специфичных только для данной конкретной аппаратуры

Вопрос о том, следует ли оставшуюся часть схемы выполнить в виде специфичных микромодулей или применять обычные радиодетали, должен решаться в каждом конкретном случае, в зависимости от назначения аппаратуры, ее серийности, степени дополни тельного выигрыша в объеме и весе и т п По видимому, для аппаратуры, которая на 60—70% может состоять из унифицированных микромодулей, разработка своих специфичных микромодулей для остальной части аппаратуры в большинстве случаев не нужна Что касается разработки микромодулей для аппаратуры, которая в своей основе не может быть построена на унифицированных микромодулях, то она целесообразна, если серийность аппаратуры

достаточно высока или если к аппаратуре предъявлены жесткие требования по габаритам и весу, которые без применения микромодулей не могут быть обеспечены, причем стоимость аппаратуры имеет второстепенное значение.

Микромодули, предназначенные для работы в конкретном устройстве, разрабатываются на основе электрической схемы этого устройства. Такие микромодули, как правило, должны быть также функциональными узлами. В некоторых случаях они могут сочетать несколько функций. В исключительных случаях в интересах конструктивных удобств могут разрабатываться и сборные микромодули, в состав которых входят элементы или сочетания элементов из различных частей общей схемы устройства.

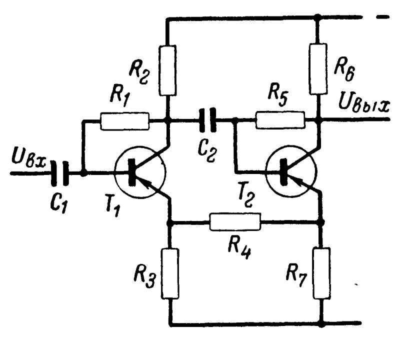


Рис. 36. Схема усилителя с положительной обратной связью.

При уточнении электрической схемы микромодуля нужно также учитывать следующее. Во-первых, все элементы, необходимые для изготовления микромодуля и его нормальной работы, должны выпускаться в микромодульном исполнении, поэтому разработчики этих устройств должны хорошо знать номенклатуру и характеристики выпускаемых микроэлементов. Во-вторых, мощность, рассеиваемая элементами схемы микромодуля, должна быть возможно меньшей и должна быть согласована с общей конструкцией микромодульного блока и условиями теплоотдачи. В третьих, количество элементов в составе одного микромодуля должно быть согласовано с допустимыми размерами (высотой микромодуля). Рассмотрим несколько подробнее эти положения.

Для большинства схем, работающих на частотах до нескольких (а в отдельных случаях до десятков) мегагерц, может выпускаться вся основная номенклатура микроэлементов. Некоторые трудности возникают, если нужно применить конденсаторы и особенно индуктивности большой величины, специальные элементы или элементы, отличающиеся точностью и стабильностью параметров. Последние с течением времени, видимо, также могут быть разработаны в микромодульном исполнении. Что касается конденсаторов и индуктивностей большой величины, то для микромодульной техники (и в еще большей степени — для микросхем и молектроники) важное значение имеют разработка электронных схем, в которых эти элементы не применяются, а также разработка схемных эквивалентов емкостей и индуктивностей. Так, например, конденсаторы большой емкости, шунтирующие эмиттерные сопротивления в усилительных схемах, могут быть в ряде случаев заменены цепями положительной обратной связи, в которых отсутствуют габаритные детали. На рис. 36 приведен пример схемы усилителя с положительной обратной связью. Для того чтобы исключить переходные конденсаторы большой емкости, разрабатываются схемы с непосредственной связью.

На рис. 37,*а* приведен вариант электрической схемы, эквивалентной последовательно включенной индуктивности (в схеме используется конденсатор малой емкости), а на рис. 37,*б* — вариант электрической схемы, эквивалентной параллельно подключенной большой емкости (в схеме используется также конденсатор малой емкости).

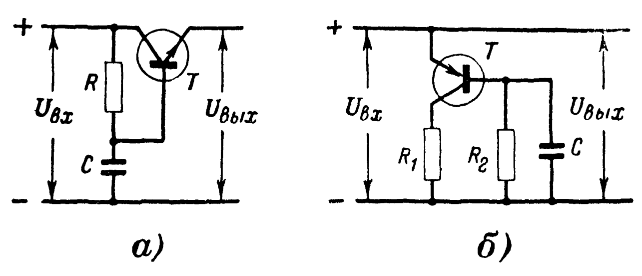
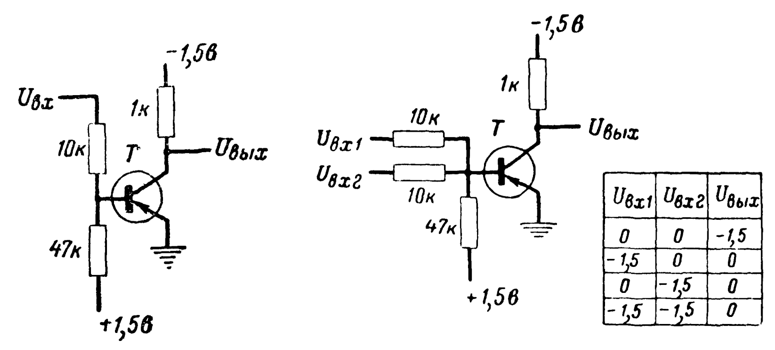


Рис. 37. Схемы эквивалента последовательно включенной индуктивности (*а*) и эквивалента параллельно включенной емкости (*б*).

В связи с разработкой схем для миниатюрных устройств большое внимание уделяется снижению рассеиваемой мощности. Хотя в отдельно взятом микромодуле и может быть рассеяно до 0,5 *вт* мощности, в микромодульном блоке допустимая средняя мощность рассеяния, приходящаяся на один микромодуль, значительно ниже и в ряде случаев не может превышать 20—50 *мвт*. Поэтому схемы



Uвх1	Uвх2	Uвых
0	0	-1,5
-1,5	0	0
0	-1,5	0
-1,5	-1,5	0

Рис. 38. Схема инвертора.

Рис. 39. Схема *НЕ—ИЛИ*.

микромодулей целесообразно разрабатывать на низкие питающие напряжения.

На рис. 38—45 приведена группа схем, разработанных специально для миниатюрных узлов логических и вычислительных устройств. Эти схемы могут работать совместно друг с другом без дополнительных согласующих элементов. Назначение приведенных схем широко известно, и мы не будем на этом останавливаться. Следует только отметить, что путем соединения нескольких логических схем

НЕ — ИЛИ (рис. 39), можно получить, как показано на рис. 46, логические схемы *И*, *ИЛИ* и более сложные. Схемы питаются от одинаковых и весьма низких уровней напряжения. В них применено

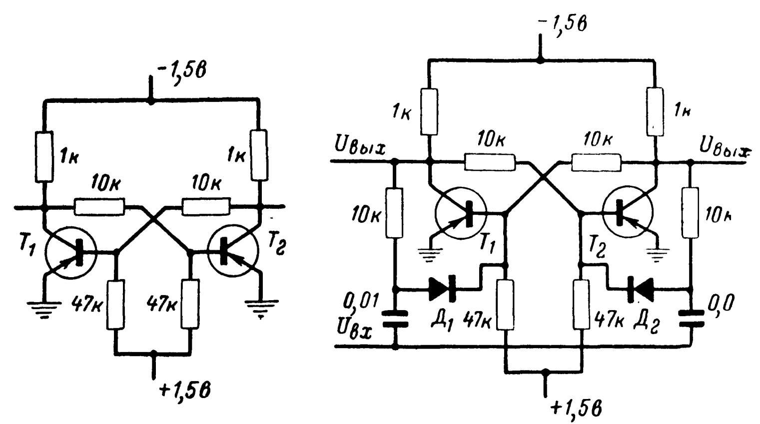


Рис. 40. Схема электронного реле.

Рис. 41. Схема двоичного счетчика.

небольшое количество различных номиналов сопротивлений и конденсаторов. Для построения схем можно использовать плоскостные и диффузионные транзисторы с коэффициентом усиления по току в схеме с общим эмиттером $\beta > 50$. Выходной транзистор схемы лампового индикатора (рис. 44) должен иметь коэффициент усиления

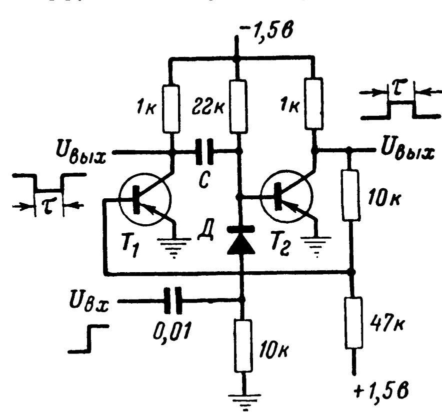


Рис. 42. Схема одновибратора.

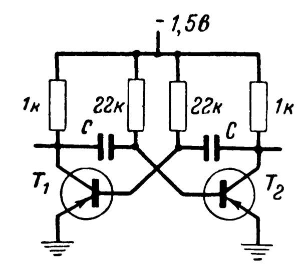


Рис. 43. Схема мультивибратора.

больше 100. Обратный ток коллектора может достигать 30 *мка*. Диоды, используемые в схемах, должны иметь падение напряжения в прямом направлении не более 1 *в* при токе 5 *ма* и обратный ток не более 500 *мка* при обратном напряжении 50 *в*.

Число элементов в схеме микромодуля определяется конструкцией микромодульного блока. В частности, при вертикальной установке микромодулей в интересах наибольшей плотности монтажа большинство микромодулей должно иметь примерно одинаковую

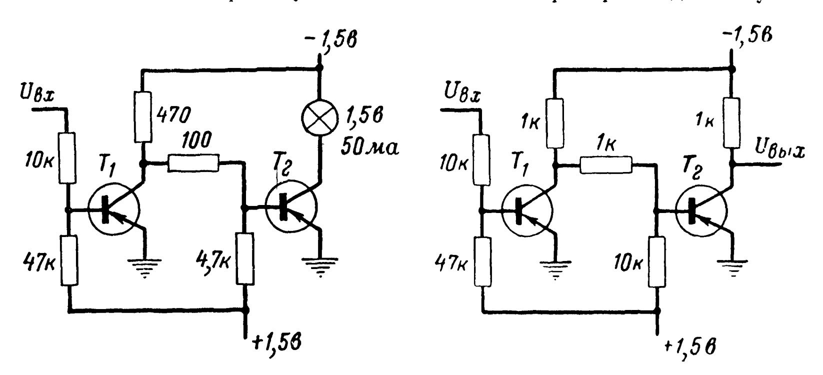


Рис. 44. Схема лампового индикатора.

Рис. 45. Схема ключа — усилителя мощности.

высоту, а высота микромодуля зависит от числа и высоты входящих микроэлементов.

При разработке схем и макетировании микромодулей могут быть использованы специальные приспособления для сборки и «холодного» электрического соединения микроэлементов между собой. В ряде случаев макетирование можно производить с помощью обычных элементов и тех микромодульных элементов, характеристики которых имеют важное значение для характеристик схемы. В большинстве случаев для макетирования можно применять обычные сопротивления и конденсаторы и микромодульные диоды и триоды. При этом можно избежать подпайки к пазам микроэлементов, если использовать специальные кассеты с пружинящими контактами, куда закладываются микроэлементы.

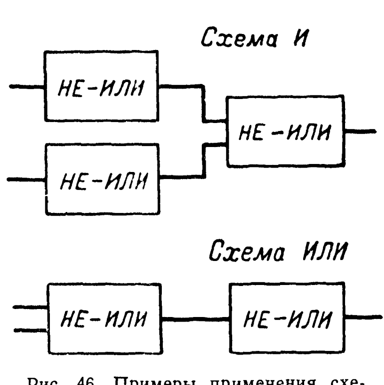


Рис. 46. Примеры применения схемы *НЕ—ИЛИ* для составления других логических схем.

Рассмотрим некоторые вопросы, связанные с цоколевкой микромодуля.

Цоколевка микромодуля имеет важное значение не только для его конструкции, но и особенно для конструкции микромодульного блока.

Так как микромодули в большинстве случаев монтируются на печатных платах, где имеются весьма ограниченные возможности для коммутации узлов между собой, то неудачно выбранная цоко-

левка может серьезно усложнить схему печатного монтажа и конструкцию микромодульного блока в целом.

Покажем на примере, какое значение может иметь цоколевка микромодуля для схемы печатного монтажа. Допустим, что электрическая схема некоторого блока состоит из нескольких одинаковых функциональных групп, что часто встречается в логических и вычислительных устройствах. Микромодульный блок в этом случае будет, очевидно, представлять собой несколько одинаковых рядов микромодулей. Пусть для питания микромодулей используются напряжения $+U$ и $-U$.

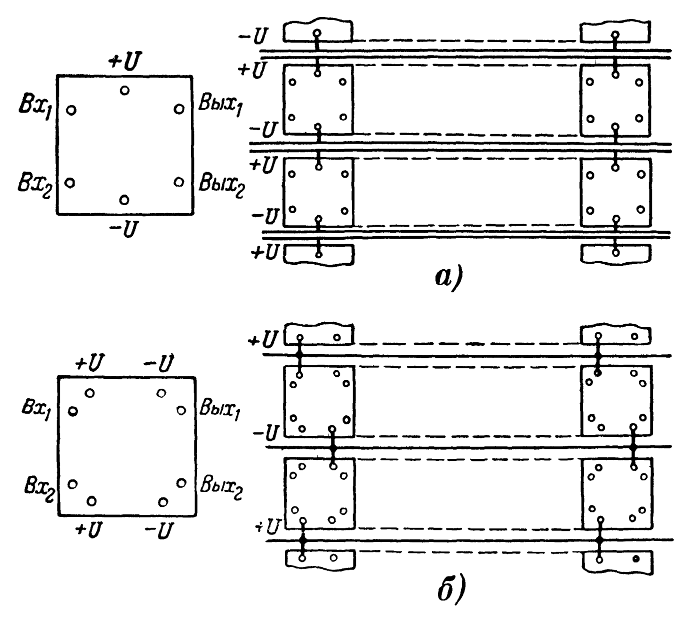


Рис. 47. Варианты подключения шин питающих напряжений к линейкам микромодулей.

Поскольку основная коммутация цепей сигнала между микромодулями идет, очевидно, в направлении ряда, то для цепей питания целесообразно использовать промежутки между ними. Если все микромодули имеют на одной стороне вывод напряжения $+U$, а на другой $-U$, то для подвода питающих напряжений ко всем микромодулям нужно иметь между соседними рядами две линии печатного монтажа, как показано на рис. 47,*а*. Если же цоколевка микромодуля предусматривает вывод на каждой из противолежащих сторон обоих уровней питающего напряжения, то для подвода этих напряжений достаточна одна линия печатного монтажа, как показано на рис. 47,*б*.

При сложных связях между микромодулями, в частности при наличии обратных связей, может оказаться целесообразным дублирование входных или выходных точек схемы, как, например, показано на рис. 48.

Естественно, что обеспечить все требуемые варианты цоколевок невозможно, и нужно сделать определенный выбор. Цоколевка унифицированных микромодулей должна, очевидно, разрабатываться на основе тщательного анализа схем применения с точки зрения наиболее удобной коммутации при различном сочетании узлов между собой. Цоколевка неунифицированных микромодулей окончательно устанавливается после предварительной разработки общей конструкции блоков и схем печатного монтажа.

Основная задача при конструировании микромодуля заключается в том, чтобы установить типы, номиналы, цоколевку, ориентацию и порядок расположения микроэлементов в микромодуле. При этом обычно используются вспомогательные монтажные схемы или таблицы сборки того или иного вида.

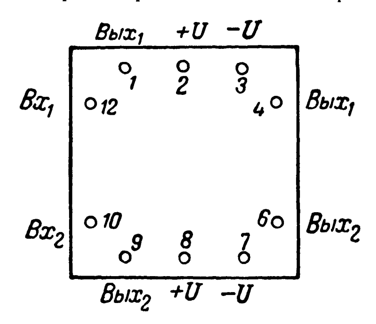


Рис. 48. Вариант цоколевки микромодуля с дублированием выходных точек схемы и цепей питания.

Можно применить, например, условное изображение элементов схемы микромодуля на поле квадрата, как это было использовано выше (см. рис. 31). Эта своего рода монтажная схема является по существу проекцией элементов (в условном изображении) на основание микромодуля. На поле квадрата элементы присоединяются к соединительным проводникам, следы которых имеют вид точек на контуре квадрата. Соединения выполняются с учетом требуемой цоколевки микромодуля и имеющихся цоколевок микроэлементов и должны обеспечить выполнение электрической схемы микромодуля. Для обозначения перемычек между соединительными проводниками и разрезов на проводниках можно использовать условные обозначения, подобные примененным выше.

В качестве примера рассмотрим вариант монтажной схемы соединения микроэлементов в микромодуле триггера, электрическая схема и цоколевка которого приведены на рис. 49. В соответствии с цоколевкой, на электрической схеме поставлены номера соединительных проводников (выводов микромодуля). Монтажная схема приведена на рис. 50. В конструкции микромодуля используются микромодульные сопротивления и конденсаторы с цоколевкой *1—4* и *1—8* и транзисторы с цоколевкой *1* (база) — *8* (коллектор) — *5* (эмиттер). Условное изображение элемента на поле квадрата имеет характерное иачертание для каждого типа цоколевки.

Некоторая практика позволяет быстро выбирать цоколевку микроэлемента и его ориентацию в микромодуле для получения нужных соединений. На первых порах, когда опыт отсутствует, можно составить и применять вспомогательные таблицы, где указаны цоколевки и ориентация микроэлемента, необходимые для того, чтобы осуществить присоединение к выбранным соединительным проводникам. В таблице на рис. 51 приведены данные по ориентации микроэлемента транзистора с цоколевкой *1—8—5* (*б—к—э*).

Из монтажной схемы видно, что для сборки микромодуля необходимы следующие микроэлементы: сопротивления R_1, R_3, R_6, R_7

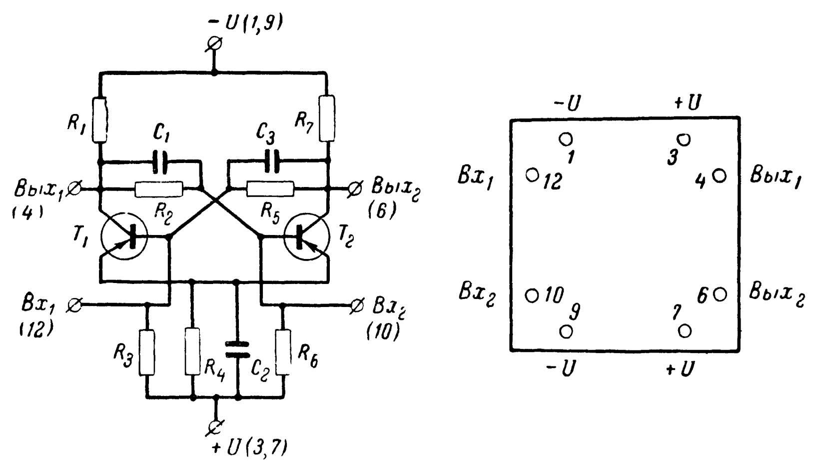


Рис. 49. Схема и цоколевка микромодуля триггера.

с цоколевкой *1—4*; сопротивления R_2, R_4, R_5 и конденсаторы C_1, C_2, C_3 с цоколевкой *1—8*; транзисторы T_1 и T_2 с цоколевкой *1—8—5*.

Нетрудно убедиться, что, например, сопротивление R_3 имеет ориентацию такую же, как и ориентация *5*, а сопротивление R_6 — как ориентация *3* на рис. 51.

Из схемы также видно, что между соединительными проводниками *1* и *9*, *2* и *8*, *3* и *7*, *4* и *5*, *5* и *6* нужно сделать перемычки,

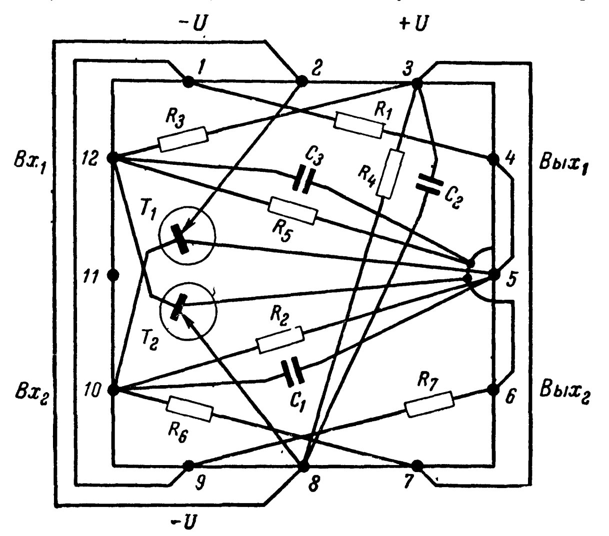


Рис. 50. Вариант монтажной схемы микромодуля триггера.

а проводник 5 разрезать, причем элементы R_2, C_1, T_1 и перемычка 4—5 должны быть присоединены к этому проводнику с одной стороны от разреза, а элементы R_5, C_3, T_2 и перемычка 5—6 с другой стороны.

Таким образом монтажная схема позволяет установить необходимые для данного микромодуля цоколевки и ориентации микроэлементов, перемычки между соединительными проводниками и разрезы на проводниках.

Ориентация		б	к	э
1		1	8	5
2		4	11	8
3		7	2	11
4		10	5	2
5		3	8	11
6		6	11	2
7		9	2	5
8		12	5	8

Рис. 51. Таблица подключения выводов транзистора к соединительным проводникам микромодуля.

Необходимо еще решить вопрос о последовательности расположения микроэлементов и месте расположения перемычек и разреза.

В интересах лучшего теплового режима микромодуля элементы, рассеивающие наибольшую мощность, целесообразно размещать ближе к нижнему основанию, которое прилегает к печатной плате при установке микромодуля в блок. В нашем случае наибольшая мощность рассеивается на коллекторных сопротивлениях R_1 и R_7, и их следует расположить вблизи нижнего основания микромодуля, т. е. первыми по порядку расположения микроэлементов. Учитывая, что наиболее высокая температура развивается вблизи именно этих микроэлементов, транзисторы не следует располагать рядом с ними.

Разрез соединительного проводника не рекомендуется делать рядом с микроэлементом, который присоединен к этому проводнику. Поэтому между микроэлементами R_2, C_1, T_1, перемычкой 4—5 и местом разреза с одной стороны и микроэлементами R_5, C_3, T_2 и перемычкой 5—6 с другой стороны нужно расположить по крайней мере по одному микроэлементу, не контактирующему с проводником 5. Не рекомендуется производить разрез соединительного проводника и непосредственно около крайних микроэлементов (в первом и последнем зазорах микромодуля). Платы с перемычками желательно располагать на краях микромодульной этажерки. Если используются проволочные перемычки, то они выполняются только на краях.

Таким образом можно предложить следующий порядок расположения микроэлементов в микромодуле: плата с перемычками 1—9, 2—8, 3—7, 4—5, R_7, R_1, R_2, C_1, T_1, R_3, C_2, R_4, R_6, T_2, C_3, R_5, плата с перемычкой 5—6. Разрез соединительного проводника 5 производится между микроэлементами C_2 и R_4.

Все сведения, необходимые для сборки микромодуля, собраны в таблице на рис. 52, являющейся схемой сборки микромодуля, которая определяет последовательность укладки микроэлементов

в этажерку. В таблице указаны типы, номиналы, цоколевки и ориентация микроэлементов, места присоединения микроэлементов к соединительным проводникам и место расположения разреза.

В соответствии с конструкцией на каждом из оснований микромодуля имеется 12 выводов, однако обычно только некоторые из них являются выводными точками схемы. Конечно, вертикальное крепление микромодуля на печатной плате с помощью всех 12 проводни-

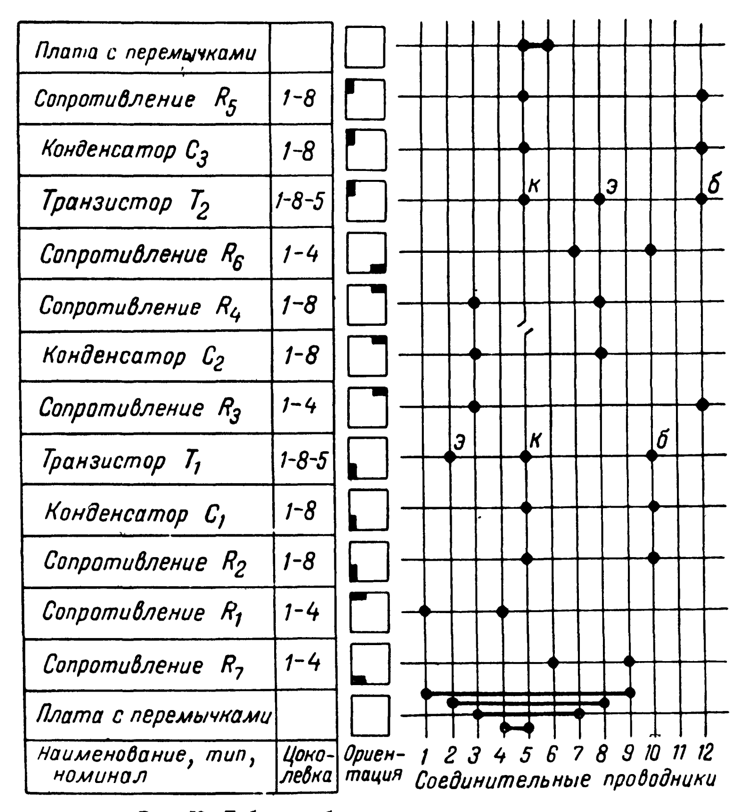


Рис. 52. Таблица сборки микромодуля триггера.

ков обеспечивает наибольшую механическую прочность соединения, однако для каждого вывода требуется печатная площадка для распайки, и коммутация на печатной плате при этом может значительно усложниться. Следует также заметить, что число соединительных проводников, равное 12, выбиралось не из соображений механической прочности крепления к печатной плате. Достаточная прочность обеспечивается при восьми и даже 6 выводах. Поэтому в ряде случаев, особенно при разработке неунифицированных микромодулей, количество выводов целесообразно уменьшать. В приведенном приме-

ре выводными являются соединительные проводники *1*, *3*, *4*, *6*, *7*, *9*, *10*, *12*, при этом выводы питания *1* и *3* дублированы, так что число выводов может быть сокращено до 6. Применяя дополнительные перемычки и разрезы, можно дублировать не только выводы питания, но и входные или выходные точки схемы. В этом случае придется, очевидно, изменить порядок расположения микроэлементов в микромодуле.

12. ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ И ГЕРМЕТИЗАЦИИ МИКРОМОДУЛЕЙ

Хотя основные принципы сборки и герметизации микромодулей предопределены его конструкцией, конкретные технологические приемы зависят от того, производится ли изготовление экспериментальных образцов микромодулей или их серийное производство.

Один из вариантов сборки экспериментальных образцов заключается в следующем. Микроэлементы в последовательности и в определенном положении, указанными схемой сборки микромодуля, вставляются в специальную кассету с раздвижными гребенками (рис. 53). Над кассетой на уровне микроэлементов натягиваются соединительные проводники. Прижимая какой-нибудь изоляционной пластинкой проводник к пазам микроэлементов, маломощным паяльником с острозаточенным жалом быстро проводят вдоль проводника, углубляя его в пазы. Припаяв три проводника с одной стороны и обрезав проводники на нужном расстоянии, переворачивают кассету с микроэлементами и запаивают три проводника с противоположной стороны. Затем наполовину запаянная этажерка вынимается из кассеты, после чего производится пайка оставшихся двух сторон микромодуля.

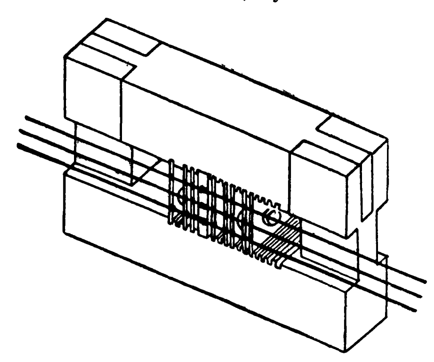


Рис. 53. Приспособление для сборки микромодуля.

Имеющееся в пазах микроэлемента и на проводнике количество припоя должно быть достаточным для высококачественной пайки, и в процесс пайки припой дополнительно не должен вноситься. В связи с этим нагрев проводов может проводиться и другим способом. Например, проводники могут разогреваться при помощи пропускаемого по ним электрического тока. Может быть применен паяльник специальной формы с большой плоскостью нагрева (типа утюга), который прогревает сразу три проводника на всей длине микромодуля. Наконец, при серийном производстве может применяться процесс непрерывной пайки модулей. В этом случае 12 проводников сматываются с 12 катушек, образуя узкий колодец, в который поочередно вводятся микроэлементы и припаиваются к 12 проводникам. По мере пайки элементов микромодуля вся система постепенно опускается. Таким образом, получается непрерывная эта-

жерка с отстоящими друг от друга группами элементов. Разрезка такой непрерывной этажерки может проводиться как в том же приспособлении по мере сборки каждого микромодуля, так и в отдельном приспособлении.

Конструкция микромодуля предусматривает наличие минимального зазора между всеми микроэлементами. В связи с этим сборку микромодулей можно проводить двумя способами. По одному из них микроэлементы устанавливаются в микромодуле с одинаковым зазором. Разброс высоты микромодуля в этом случае определяется разбросом толщины всех входящих элементов. По другому способу элементы располагаются в микромодуле на фиксированных расстояниях от базы (от края микромодуля). Например, может быть принят шаг, равный 0,25 *мм*, и каждый элемент занимает в микромодуле определенное число шагов. Показанная на рис. 53 кассета с гребенками предусматривает сборку именно по этому способу.

Герметизация микромодулей, как отмечалось выше, в основном осуществляется при помощи заливки собранной этажерки компаундами. В основном это компаунды на основе эпоксидной смолы. Различные составы незначительно отличаются друг от друга по электроизоляционным и влагозащитным свойствам, температуре и времени отвердения компаунда. Обычно применяются компаунды холодного отвердения, хотя для убыстрения процесса отвердения может использоваться различный по времени (в зависимости от компаунда) нагрев до 60—70° С. Герметизация микромодулей при помощи эпоксидных компаундов обеспечивает достаточную жесткость микромодуля и устойчивость к различным механическим воздействиям, а также существенно повышает его влагозащищенность.

Вместо заливки компаундами возможно использование опрессовки этажерки различного типа пластмассами. При опрессовке время герметизации микромодуля сокращается до нескольких секунд, однако опрессовка проводится всегда под давлением, что является нежелательным при работе с тонкими и недостаточно механически прочными элементами. К тому же опрессовка не дает лучшей влагозащиты, чем заливка компаундами, отвердевающими при нормальном давлении. Поэтому, несмотря на больший по времени технологический цикл, для герметизации микромодулей в основном используется метод заливки.

Заливочные формы могут быть различными по конструкции. В частности, заливка может осуществляться с одной из боковых сторон микромодуля. На рис. 54,*а* показан общий вид разборной заливочной формы такого типа на шесть микромодулей. Как видно из рисунка, заливочный объем ограничивается тремя боковыми стенками и двумя вкладышами, которые надеваются на соединительные проводники и предохраняют их от заливки компаундом, образуя выводы микромодуля. Со стороны заливки грань микромодуля может иметь недостаточно четко оформленную поверхность, поэтому требуется дополнительная механическая обработка ее. Заливка может производиться с ребра микромодуля, как показано на рис. 54,*б*. В этом случае все стенки микромодуля получаются ровными и гладкими; требуется лишь небольшая зачистка ребер микромодуля.

Компаунды на основе эпоксидных смол имеют очень хорошую адгезию к металлам, поэтому стенки форм хорошо полируются и смазываются специальными составами. Для лабораторных образцов удобно изготавливать детали заливочной формы из таких материа-

лов, как фторопласт, который легко обрабатывается и не имеет адгезии к эпоксидным материалам.

В показанной на рис. 54,*а* заливочной форме вкладыши имеют ширину, равную ширине микромодуля. Они могут перемещаться по пазам, образуемым боковыми стенками формы. Тем самым в форме может заливаться микромодуль любой высоты; при подготовке формы необходимо вкладыши выставлять на нужном расстоянии. Могут быть и другие конструктивные решения заливочной формы, в которых размер ее боковых стенок определяет высоту микромодуля. В этом случае для разновысоких микромодулей необходимо иметь несколько боковых стенок формы.

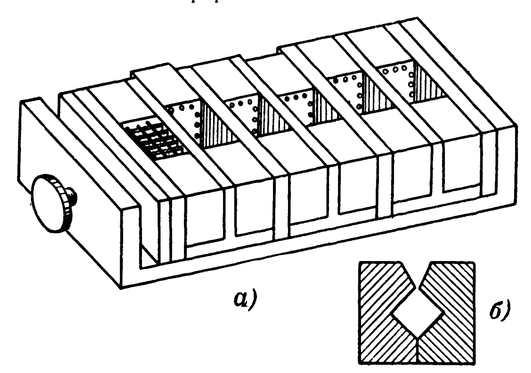


Рис. 54. Приспособление для заливки микромодуля (*а*) и схема заливки с ребра (*б*).

Наибольшую трудность при отработке технологии заливки представляет собой защита выводов микромодуля от натекания компаунда. При больших отверстиях во вкладыше он легко надевается на выводы микромодуля, но компаунд проникает в отверстие вкладыша. При маленьких отверстиях (близких к диаметру проводника) вкладыш трудно надеть на выводы микромодуля. Отверстия на вкладыше лучше делать глухими; в этом случае воздух, находящийся в отверстии, препятствует проникновению компаунда в отверстие.

При наличии специальных концевых плат микромодуля, равных по размеру сечению последнего, заливка несколько упрощается. В этом случае концевые платы выполняют роль вкладыша в заливочной форме, и поэтому необходимы лишь три стенки формы, плотно прилегающие к боковым граням этих плат (или четыре при заливке с ребра). В свою очередь наличие таких концевых плат несколько усложняет приспособления для сборки и пайки микромодулей.

Важным моментом в процессе изготовления микромодуля является контроль как собранного, но еще не залитого, так и окончательно готового микромодуля. Основная трудность при этом состоит в создании высоконадежных и удобных в пользовании контактных приспособлений. Для лабораторных целей контактные приспособления могут выполняться по типу ламповых панелек, однако, учитывая небольшой диаметр и небольшую механическую жесткость выводов микромодуля, создание такой панельки значительно усложняется

13. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ МИКРОМОДУЛЬНЫХ БЛОКОВ

Как уже отмечалось, разработка аппаратуры целиком на базе унифицированных микромодулей не всегда возможна. В большинстве случаев наряду с унифицированными микромодулями требуется применение ряда обычных элементов. Кроме того, в аппаратуре могут применяться и микромодули, разрабатываемые специально для данного устройства.

В любом случае конструирование аппаратуры начинается с разбивки устройства на блоки, выполняемые, как правило, на отдельных печатных платах. При этом рассматриваются взаимное расположение блоков, способы их соединения, определяются габариты и общий вид устройства. Если разработка ведется на основе унифицированных микромодулей, то их число, габариты и цоколевки заранее из-

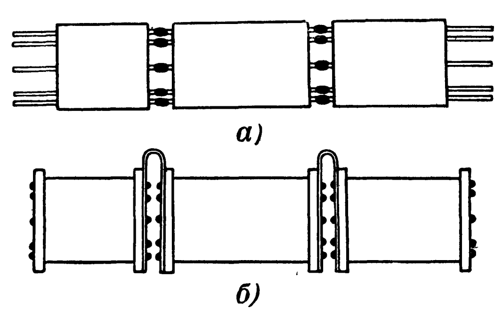


Рис. 55. Последовательное соединение микромодулей.
а — непосредственное; *б* — с помощью переходных плат.

вестны. Необходимо лишь скомпоновать их в блоки с учетом наиболее экономной схемы соединений. Если же устройство разрабатывается на основе неунифицированных микромодулей, то разработка конструкции устройства должна идти одновременно или даже опережать разработку микромодулей. При разделении электрической схемы устройства на участки, входящие в отдельные микромодули, учитывается, с одной стороны, функциональная законченность схемы, а с другой стороны, — требование к унификации по типам и размерам (высоте). Цоколевка микромодулей, как правило, выявляется только при разработке схем печатного монтажа блока. Наконец, в некоторых случаях конструкция блока налагает ограничения на количество микромодулей в его составе, что приходится учитывать при составлении схем микромодулей.

Существует несколько способов соединения микромодулей в составе блока. Один из них предусматривает последовательное соединение микромодулей либо непосредственно друг с другом, либо при помощи переходных одиночных плат (рис. 55). Такое соединение удобно лишь в аппаратуре, где преобладает последовательное соединение каскадов (например, простые приемники и т. п.). При этом неунифицированные микромодули можно конструктивно выполнять так, чтобы выход одного микромодуля совпадал с входом последу-

ющего, а питающие напряжения находились на одном и том же соединительном проводнике.

Другие способы соединения микромодулей предусматривают использование общей печатной платы. Наиболее простой из них предусматривает одностороннюю вертикальную установку микромодулей на печатной плате (рис. 56). Выводы микромодуля непосредственно входят в отверстия печатной платы и припаиваются к печатным площадкам. Наряду с простотой сборки этот способ позволяет легко

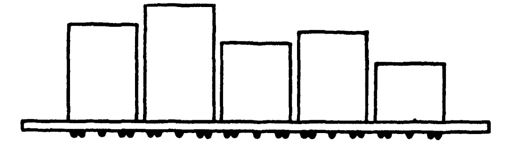


Рис. 56. Вертикальная установка. микромодулей на печатной плате.

снимать и заменять неисправные микромодули. Недостатками его являются сложность печатного монтажа для ряда схем, а также некоторая потеря объема из-за разновысотности микромодулей.

Некоторый выигрыш по объему может дать горизонтальная установка микромодулей на печатных платах. В этом случае высота блока уже не зависит от длины отдельных микромодулей, а разница в длине не затрудняет компоновку блока. Горизонтальная установка микромодулей удобна тогда, когда применяются микромодули с небольшим количеством выводов (не более 6—8). В этом случае выводы могут быть расположены в один ряд с каждой стороны микро-

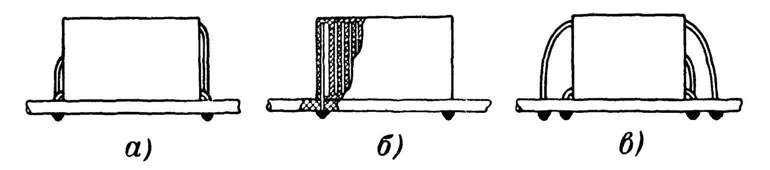


Рис. 57. Горизонтальная установка микромодулей на печатной плате.

модуля. Они загибаются и вводятся в соответствующие отверстия в печатной плате (рис. 57,*а*). Конструкция микромодуля может быть специально приспособлена для горизонтального крепления, для чего в микромодуль можно ввести концевые платы с боковыми выводами (рис. 57,*б*). Если микромодули должны иметь 10—12 и большее число выводов, то эти выводы можно расположить только в два ряда, что приводит к расширению площади платы, занимаемой микромодулями, и соответственно к увеличению объема блока (рис. 57,*в*).

Возможен вариант конструкции блока, в котором все или часть микромодулей устанавливаются между двумя печатными платами (рис. 58). Эта конструкция имеет несколько большие возможности в отношении межмодульных соединений, но, как и в первом способе, разновысотность микромодулей приводит к потере объема. К тому же сборка микромодулей между двумя платами затруднена, а замена отдельных микромодулей практически невозможна.

Разновидностью двухплатной конструкции блока, но лишенной указанных недостатков (трудность сборки и невозможность замены микромодулей), является конструкция, изображенная на рис. 59. Практически здесь мы имеем две одноплатные конструкции, в которых микромодули установлены группами так, чтобы микромодули одной платы входили при сборке блока в промежутки между микромодулями второй платы. Свободное размещение микромодулей на

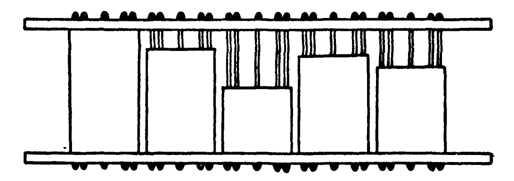


Рис. 58. Установка микромодулей между двумя печатными платами.

каждой из плат облегчает коммутацию печатных проводников на платах, но требует дополнительного соединения между ними.

В микромодульных блоках, использующих даже неунифицированные микромодули, могут применяться также обычные малогабаритные элементы. Это в первую очередь элементы, которые еще не разработаны в микромодульном исполнении, а также элементы настройки и регулировки блока. При разработке конструкции блока необходимо предусмотреть место и способ крепления таких элементов, причем элементы, подбираемые при настройке блока, должны быть расположены в наиболее доступных местах.

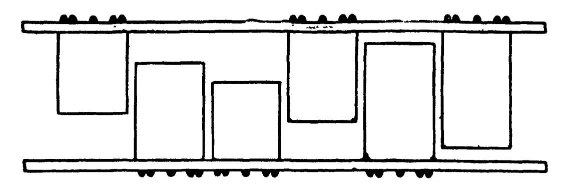


Рис. 59. Двухплатная конструкция блока с чередующимся расположением микромодулей.

В микромодульных блоках могут применяться и крупногабаритные детали — конденсаторы и индуктивности большой величины, трансформаторы, фильтры, мощные полупроводниковые приборы, миниатюрные лампы, переменные сопротивления, разъемы и пр. Некоторые из этих элементов могут быть разработаны в конструкции, сопрягающейся с микромодулями. Например, трансформаторы низкой частоты можно выполнять в размерах одного, двух или четырех микромодулей (в зависимости от индуктивности или мощности), электрические и электромеханические фильтры — в размерах нескольких микромодулей, вытянутых в ряд, и т. д. Выводы этих элементов должны находиться в узлах координатной сетки и допускать установку и пайку на печатных платах.

Остановимся на особенностях разработки и изготовления печатных плат для микромодульных конструкций.

Прежде всего нужно отметить высокую плотность печатного монтажа, связанную с расположением выводов микромодулей. Для установки микромодуля в плате делаются отверстия диаметром 0,6—0,7 *мм*. Печатные площадки для распайки выводов должны при этом иметь диаметр не менее 1,5 *мм*. Технология изготовления печатных схем позволяет иметь ширину печатных проводников и зазоров между ними до 0,3—0,4 *мм* (лучше — более 0,5 *мм*). Поэтому между двумя выводами можно провести транзитный печатный проводник только в том случае, если расстояние между выводами будет не менее 2,5—3 *мм*.

На рис. 29 были показаны конфигурация и размеры микроплаты RCA. Если соединительные проводники выходят из микромодуля без изгиба, то расстояния между выводами будут те же, что и между пазами в микроэлементах. На рис. 60 показано расположение выводов этих микромодулей на печатной плате. Из рисунка видно, что печатные проводники можно провести только между угловыми выводами микромодуля и между выводами соседних микромодулей. Таким образом, под микромодулем может находиться всего лишь 8 входящих и выходящих печатных проводников (при двустороннем печатном монтаже).

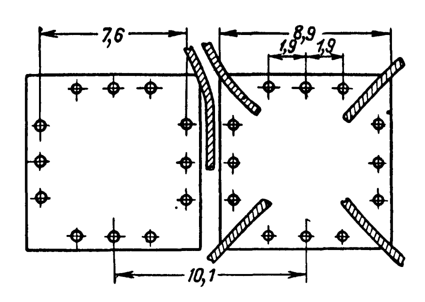


Рис. 60. Расположение выводов микромодулей на печатной плате.

Во многих случаях этого недостаточно для соединения микромодулей между собой. Поэтому предусматривается второй вариант расположения выводов, показанный на рис. 61. Он получается из первого (так как микроэлементы остаются теми же) при помощи дополнительной переходной изоляционной пластинки и изгиба всех 12 выводов микромодуля. Как видно из рисунка, в этом случае под микромодулем могут располагаться 24 входные и выходные печатные линии (при двустороннем печатном монтаже), что значительно облегчает размещение междумодульных соединений на печатной плате. Однако изгиб всех выводов и использование дополнительной пластинки нельзя считать удачным решением.

Как видно из рис. 60, расстояние между соседними выводами на боковой стороне микромодуля равно 1,9 *мм*. Если это расстояние увеличить до 2,5—3 *мм* (расстояние между угловыми выводами, наоборот, может быть уменьшено, но не менее чем до 1,8—2 *мм*), то возможность коммутации микромодулей на печатных платах увеличится и без изгиба выводов (до 16 входных и выходных печатных линий при двустороннем печатном монтаже).

На рис. 62 приведены конфигурация и основные размеры шестигранного микроэлемента. Расстояние между выводами, находящимися на одной грани, равно 3 *мм*, а расстояние между выводами, находящимися на соседних гранях—около 2,5 *мм*. Таким образом транзитные проводники на печатной плате можно легко провести между выводами, находящимися на одной грани, и с некоторым уменьшением контактных площадок между выводами, находящимися на сосед-

них гранях. Можно использовать также вариант микромодуля, у которого на каждой грани размещено лишь по одному выводу. В этом случае возможности коммутации на плате естественно расширяются, но 6 выводов для многих типов микромодулей оказывается недостаточно.

Как отмечалось выше, во многих случаях нет необходимости использовать все 12 выводов микромодуля. Сокращение числа выводов, распаиваемых на печатной плате, естественно, увеличивает возможности междумодульных соединений.

В настоящее время существует два основных метода изготовления печатных плат для радиоаппаратуры. По одному из них на изоляционную подложку в местах, соответствующих рисунку печат-

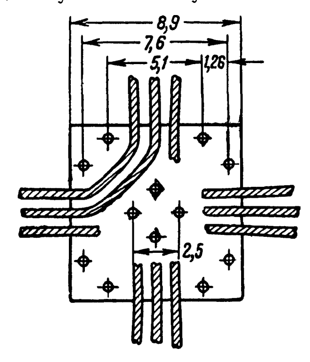


Рис. 61. Второй вариант расположения выводов в микромодуле.

Рис. 62. Конструкция и основные размеры шестигранного микроэлемента.

ной платы, проводник наносят электрохимическим способом. По второму методу к изоляционной подложке (гетинакс или стеклотекстолит) с одной стороны или с обеих сторон приклеивается медная фольга толщиной до 50 *мк*. На фольгированном материале какимнибудь способом защищается рисунок печатного монтажа, а остальная часть фольги вытравливается.

Оба метода имеют свои достоинства и недостатки. Например, метод травления фольгированного материала позволяет получить более тонкие и более точные линии печатного монтажа. В то же время метод электрохимического осаждения металла позволяет получить металлизированные отверстия в печатной плате, что очень важно как для перехода проводника с одной стороны платы на другую при двустороннем печатном монтаже, так и для увеличения прочности контактных площадок, к которым припаиваются выводы микромодуля.

При контактных площадках диаметром 1,5 *мм* сцепление фольги с изоляционной подложкой оказывается недостаточным, и могут иметь место случаи отслоения фольги при механической обработке плат (сверление или пробивка отверстий) или перегреве во время пайки. Поэтому для плат, насыщенных двусторонним печатным монтажом, целесообразно применять комбинированный метод. В этом случае печатный монтаж получают методом травления, а затем ме-

тодом электрохимического осаждения металлизируют отверстия, образуя своеобразную пустотелую металлическую заклепку, которая и электрически, и механически соединяет контактные площадки с обеих сторон платы.

Если металлизация отверстий на плате не применяется, что в большинстве случаев имеет место при одностороннем печатном монтаже, то для увеличения прочности сцепления с основой печатные площадки должны иметь развитую поверхность. В этом случае приходится отказываться от стандартной круглой формы контактной площадки и развивать ее в любом свободном направлении. Практически возможны и существуют варианты печатных плат,

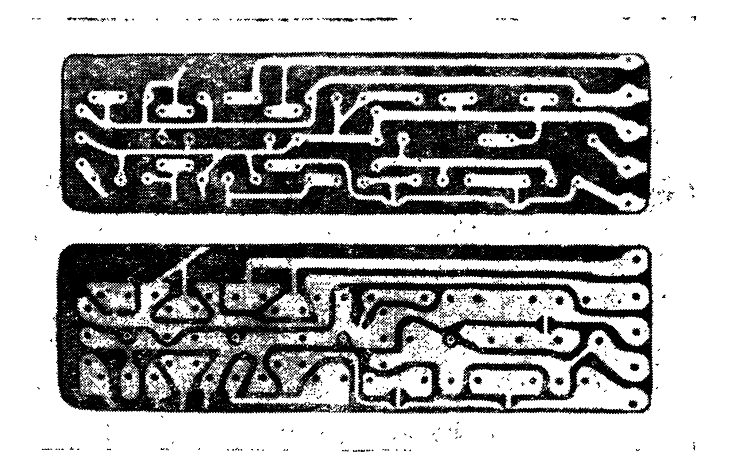


Рис. 63. Варианты печатного монтажа в микромодульных блоках.

у которых контактные площадки занимают всю площадь печатной платы за исключением узких и равных по ширине промежутков между печатными проводниками.

На рис. 63 приведены примеры печатной платы для микромодульных конструкций. Печатный монтаж на обеих платах имеет одну и ту же схему соединений. Одна из плат имеет небольшие круглые контактные площадки, которые пригодны для плат с металлизированными отверстиями (на фотографии показана плата до сверления и металлизации отверстий), и большие изоляционные промежутки. Вторая плата, наоборот, имеет большие поверхности контактных площадок.

Печатные платы с односторонним печатным монтажом и неметаллизированными отверстиями проще в изготовлении и дешевле двусторонних. Для высокоомных и высокочастотных схем даже при одностороннем печатном монтаже целесообразно применять небольшие контактные площадки и металлизацию отверстий.

Печатные платы с металлизированными отверстиями имеют еще одну особенность, характерную для метода электрохимического осаждения проводников. Все отверстия (т. е. практически все провод-

ники печатной платы) должны быть электрически соединены между собой в процессе изготовления металлизированных переходов. Для этого в рисунок печатного монтажа приходится вводить дополнительные печатные проводники, так называемые технологические перемычки, которые впоследствии удаляются или разъединяются (например, зенковкой, сверлением отверстий и т. п.). На односторонних печатных платах, изготавливаемых методом травления фольги, технологические перемычки не требуются, однако если рисунок печатного монтажа гальванически покрывается каким-либо металлом (серебром, золотом и пр), то такие перемычки приходится вводить.

Печатные платы для микромодульных конструкций могут быть различными и по конфигурации, и по размерам. На каждой плате можно устанавливать до нескольких десятков микромодулей. Габариты отдельных плат определяются как общей конструкцией устройства, так и сложностью схемы междумодульных соединений. В некоторых случаях даже двусторонняя печать не позволяет осуществить всю схему печатным способом, и приходится применять навесные проволочные перемычки В сложных многофункциональных блоках, даже если все междумодульные соединения могут быть выполнены в виде печатных проводников, проволочные перемычки удобно применять с целью последовательной проверки и огладки блока по участкам.

Сборка и монтаж микромодульных блоков намного проще монтажа аналогичных блоков в обычном исполнении. Микромодули, правильно сориентированные относительно печатного монтажа, вставляются своими выводами в отверстия печатной платы, взаимно центруются каким-нибудь способом (прокладки, центровочные решетки) и запаиваются любым из способов пайки печатного монтажа. При изготовлении экспериментальных блоков используются обычные, но более миниатюрные электрические паяльники. При серийном производстве могут использоваться обычные для этих случаев способы пайки волной припоя, окунанием и т. п.

Перед пайкой выводы обрезаются на расстоянии 0,8—1,0 *мм* от поверхности печатной платы. Подгибка выводов обычно не производится, а фиксация микромодулей в момент пайки осуществляется внешним прижимом. Выводы микромодуля должны быть надежно по всему периметру припаяны к контактной площадке; при этом ни выводы, ни контактные площадки не должны перегреваться.

При использовании двусторонних печатных плат ту сторону платы, на которой будут установлены микромодули, предварительно покрывают изоляционным лаком, так как доступ к печатным проводникам со стороны установки микромодулей после их пайки практически отсутствует, а любое попадание пыли и влаги в промежутки между микромодулями может нарушить работу блока.

Если перед установкой микромодулей на плату предусматривается обрезка отдельных выводов, то должны быть приняты меры, гарантирующие невозможность замыкания отрезанного вывода с печатными проводниками под микромодулем.

Некоторую сложность представляет собой выпаивание неисправного микромодуля из блока (даже в простейшем случае односторонней установки микромодулей на плате). Для этого необходим специальный паяльник с двенадцатью стержнями, расположенными так же, как и выводы микромодуля. При выпаивании паяльник должен точно и одновременно коснуться всех выводов микромодуля. В этом

случае разогрев выводов в течение 2—3 *сек* достаточен, чтобы распаять все выводы и снять микромодуль, и не ведет к порче печатной платы и микромодуля. При аккуратном обращении и наличии металлизированных отверстий в плате возможна неоднократная замена микромодулей на одном и том же месте. Для выпаивания микромодулей, а также для очистки отверстий от припоя можно использовать паяльники с отсосом припоя.

Окончательно отрегулированные блоки целиком покрываются изоляционным лаком. От покрытия предохраняются лишь разъемы и места паек, необходимые для дальнейшей сборки устройства.

14. ПРИМЕРЫ МИКРОМОДУЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ АППАРАТУРЫ

В технической литературе последних лет вопросам микроминиатюризации радиоэлектронной аппаратуры уделялось много внимания. Но это внимание было сосредоточено лишь на общей оценке различных методов микроминиатюризации, на характеристиках микроэлементов и функциональных узлов, получаемых теми или иными

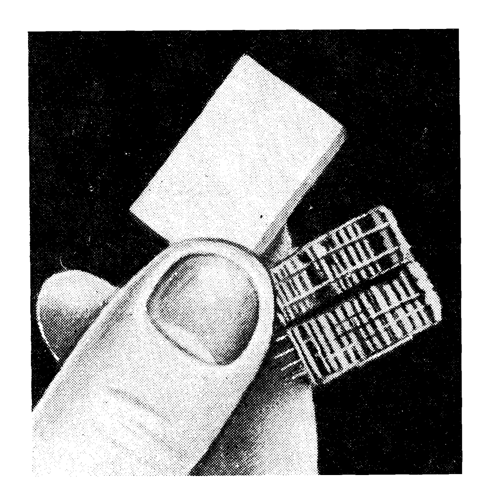


Рис. 64. Радиоприемник на микромодулях.

методами. Сведений о конкретных разработках, выполненных на микромодулях, в литературе имеется очень мало.

Еще в первых журнальных статьях, посвященных микромодульному методу конструирования, приводились фотографии радиоприемника и одинакового с ним по габаритам куска сахара (рис. 64). На рис. 65 показана фотография еще одного радиоприемника, выполненного на микромодулях RCA. Это супергетеродинный радиовещательный приемник на пяти транзисторах, помещенный в корпусе авторучки. Правую часть корпуса занимает ферритовая антенна. Две

белые секции в центре — органы настройки. Последовательно соединенные микромодули размещены в левой прозрачной части корпуса. За ними размещается батарея питания и штепсельные выводы для присоединения телефонов. Оба эти приемника сконструированы лишь

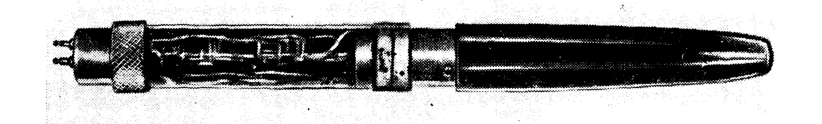


Рис. 65. Радиоприемник на микромодулях, выполненный в корпусе авторучки.

для демонстрации возможностей микромодульного метода конструирования.

На рис. 66 слева показана аппаратура уплотнения каналов AN/TCC-26, использующая транзисторы и печатный монтаж; справа показан проектируемый микромодульный аналог этой аппаратуры.

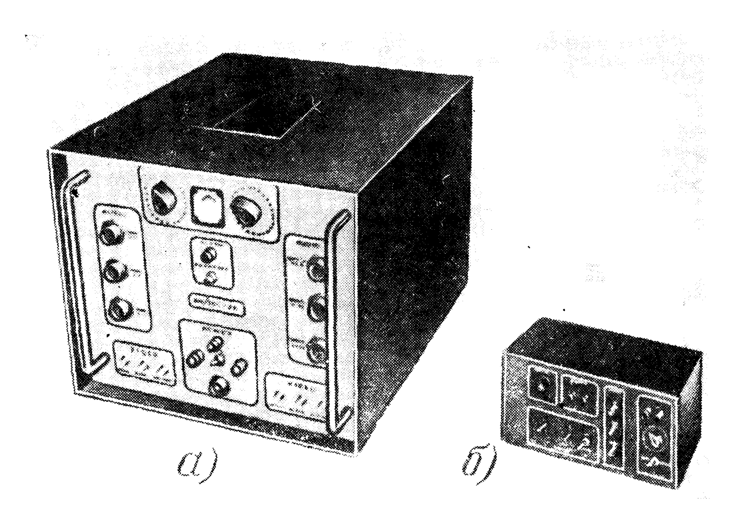


Рис. 66. Аппаратура уплотнения каналов в обычном исполнении (*а*) и ее микромодульный аналог (*б*).

На микромодулях фирмы RCA построена портативная одноканальная связная радиостанция, работающая на частоте 51 *Мгц*. Радиостанция состоит из передатчика, помещаемого обычно в кармане и поддерживаемого рукой во время передачи, и приемника, размещаемого на каске солдата. Приемник и передатчик снабжены антен-

нами и батареями питания. Дальность действия радиостанции около 500 *м*.

Приемник этой радиостанции состоит из 8 типов микромодулей: высокочастотного усилителя, кварцевого гетеродина, смесителя, каскадов усиления промежуточной частоты (в приемнике четыре таких каскада), ограничителя, дискриминатора, усилителя низкой частоты и усилителя бесшумной настройки. Он имеет следующие характеристики: чувствительность 4 *мкв*, выходная мощность на звуковой частоте 4 *мвт*, ширина полосы 50 *кгц* на уровне 6 *дб* и 200 *кгц* на уровне 60 *дб*, вес приемника 113 *г*.

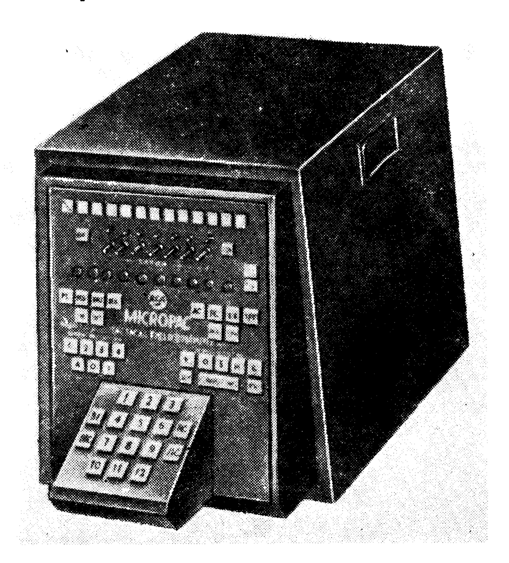


Рис. 67. Полевая электронно-вычислительная машина, выполненная с применением микромодулей.

В передатчике используются 6 типов микромодулей: модулятор тональной частоты, кварцевый генератор, фазовый модулятор, утроитель, удвоитель (в передатчике имеются два микромодуля, один из которых используется в качестве промежуточного усилителя) и усилитель мощности. Характеристики передатчика следующие: выходная мощность 100 *мвт*, напряжение питания 10,5 *в*, вес 150 *г*.

На рис. 67 показан общий вид зарубежной полевой электронно-вычислительной машины, предназначенной для оперативного центра, придаваемого корпусу или дивизии. В виде микромодулей выполнено лишь запоминающее устройство машины, но и оно содержит около 3 000 микромодулей, из которых 1 400—схемы совпадения и 500 — триггеры. Машина может выполнять двенадцать команд. Объем ее равен 85 *дм*^{3}, а вес—125 *кг*. Размеры машины в 3 раза меньше, чем у полевой электронно-вычислительной машины обычного типа. Такой сравнительно небольшой выигрыш в габаритах опреде-

ляется тем, что в микромодульном исполнении удалось выполнить лишь часть машины.

Перечисленные микромодульные устройства описаны в литературе без указания подробностей об их внутренней конструкции. Однако несомненно, что в них нашли отражение указанные выше способы конструктивного выполнения микромодульных блоков.

Микромодульный метод конструирования радиоэлектронной аппаратуры, по-видимому, уже в ближайшие годы позволит в несколько раз уменьшить габариты и вес аппаратуры, а также автоматизировать сборочно-монтажные работы, трудоемкость которых в настоящее время доходит до 40% всей трудоемкости, затрачиваемой при производстве аппаратуры. Вероятно, микромодульный метод не утратит свое значение и в более отдаленном будущем, так как с микромодульной конструкцией легко сочетаются другие методы микроминиатюризации.

Работы по микроминиатюризации безусловно приведут к новым достижениям в технике уменьшения габаритов и веса и создании высоконадежной, экономичной и дешевой радиоэлектронной аппаратуры будущего. Какой будет аппаратура через несколько десятков лет, можно только догадываться, однако перспективы ее развития видны и результаты ощутимы уже сегодня.

К ЧИТАТЕЛЯМ

Среди наиболее важных задач в области науки Программа КПСС предусматривает интенсивное развитие радиоэлектроники.

Массовая радиобиблиотека Госэнергоиздата служит пропаганде радиотехнических знаний среди широких слоев населения СССР и информации о новых направлениях радиоэлектроники.

Книга С. Х. Азарха и Е. А. Фрида «Микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры» относится к числу тех изданий Массовой радиобиблиотеки, которые знакомят читателей с вопросами новой техники. Придавая большое значение книгам этого раздела, редакция обращается к читателям с просьбой дать отзыв о данной книге и свои предложения о тематике книг по вопросам новой техники, которые следует выпустить в Массовой радиобиблиотеке.

Ваши отзывы и предложения направляйте по адресу: Москва, Ж-114, Шлюзовая набережная, 10, Госэнергоиздат, редакции Массовой радиобиблиотеки.